

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İLERİ DOĞRU HAREKET EDEN BİR HAVA YASTIKLI
ARACIN AERODİNAMİK OLARAK İNCELENMESİ**

Makina Müh. Alp TAYMANER

**FBE Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Oktay ÖZCAN

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	III
KISALTMA LİSTESİ.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
TABLO LİSTESİ.....	VII
ÖNSÖZ.....	VIII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. HOVERCRAFT.....	2
2.1 Hoverkraftın Tarihçesi.....	4
3. SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMİ VE YÖNETİCİ DENKLEMLER.....	5
3.1 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.....	5
3.2 Türbülans Modelleme.....	6
3.2.1 Standart k- ϵ Modeli.....	8
4. SAYISAL ÇÖZÜMLER.....	10
4.1 Ahmed Body.....	10
4.2 İleri Doğru Hareket Eden Hoverkraft.....	16
4.3 Havada Durup Aynı Zamanda İleri Giden Hoverkraft.....	28
5. SONUÇLAR.....	36
KAYNAKÇA.....	37
ÖZGEÇMİŞ.....	38

SİMGE LİSTESİ

A	m^2	Akıma dik araç kesit alanı
B	mm	Araç genişliği
C_D		Sürükleme katsayısı
C_L		Kaldırma katsayısı
C_p	J/kgK	Sabit basınçtaki özgül ısınma ısısı
$C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_\mu$		$k-\varepsilon$ standart türbülans modeli sabitleri
F_D	N	Sürükleme kuvveti
F_L	N	Kaldırma kuvveti
H	mm	Hoverkraftın yerden yüksekliği
k	W/mK	Türbülans kinetik enerjisi
$k(t)$	W/mK	Türbülans akımının anlık kinetik enerjisi
K	W/mK	Kinetik Enerji
L	mm	Araç uzunluğu
Nu		Nusselt sayısı
P	Pa	Basınç
P_∞	Pa	Atmosferik basınç
Pr		<i>Prandtl</i> sayısı
Re		<i>Reynolds</i> sayısı
S_{ij}	s^{-1}	Ortalama deformasyon hızı
T	$^\circ C$	Sıcaklık
t	s	Zaman
$u_{i,j,k}$	m/s	Hızın i, j, k bileşenleri
u',v',w'		Anlık hız bileşenleri
U_f	m/s	Fanın kesit alanından geçen havanın hızı
U_∞	m/s	Dış akım hızı
v	m/s	Hızın y ekseni bileşeni
w	m/s	Hızın z ekseni bileşeni
x, y, z	m	Kartezyen koordinatlar
ε		Türbülans sönmelenme katsayısı
μ	kg/ms	Dinamik viskozite
μ_t	kg/ms	Türbülans dinamik viskozitesi
ν	m^2/s	Kinematik viskozite

ρ	kg/m ³	Akışkan yoğunluğu
β		Termal genişleme katsayısı
φ	°	Geri eğim açısı

KISALTMA LİSTESİ

ACV	Air Cushion Vehicle
CFD	Computational Fluid Dynamics
DNS	Direct Numerical Solution
DES	Detached Eddy Simulation
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
LES	Large Eddy Simulation
RNG	Renormalization Group Theory
RANS	Reynolds Averaged Navier Stokes
RSM	Reynolds Stress Model
SES	Surface Effect Ship
SST	Shear Stress Transport
WALE	Wall-adapting local eddy-viscosity

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Hoverkraft.....	2
Şekil 2.2 Hoverkraftın sınıflandırılması	3
Şekil 4.1 Solidworks programında çizilen Ahmed Body	10
Şekil 4.2 Ahmed Body çözüm ağı ve sınır şartları	11
Şekil 4.3 Ahmed Body mesh	12
Şekil 4.4 İterasyon sayısı ile yakınsaklığın değişimi	12
Şekil 4.5 $z=0$ Düzleminde Hız Kontürleri	13
Şekil 4.6 $x=0$ Düzleminde Hız Kontürleri	13
Şekil 4.7 $z=0$ Düzleminde yörüngeleri.....	14
Şekil 4.8 $x=0$ Düzleminde yörüngeleri.....	14
Şekil 4.9 Solidworks programında çizilen Hoverkraft	15
Şekil 4.10 $H=10\text{mm}$ için oluşturulan çözüm ağı	16
Şekil 4.11 Hoverkraftın çözüm ağı ve sınır şartları	17
Şekil 4.12 İterasyon Sayısı ile Yakınsaklığın Değişimi.....	18
Şekil 4.13 $z=0.175\text{m}$ düzlemindeki hız kontürleri	18
Şekil 4.14 $x=-0.095\text{m}$ düzlemindeki hız kontürleri	19
Şekil 4.15 $y=-0.4\text{m}$ düzlemindeki hız kontürleri	19
Şekil 4.16 $z=0.175\text{m}$ düzlemindeki yörüngeleri.	20
Şekil 4.17 $z=0.175\text{m}$ düzlemindeki yörüngelerin yakınlaştırılmış görünümü.....	20
Şekil 4.18 $x=-0.195\text{m}$ düzlemindeki yörüngeleri.....	21
Şekil 4.19 $x=-0.195\text{m}$ düzlemindeki yörüngelerin yakınlaştırılmış görünümü.....	21
Şekil 4.20 C_D değerinin H değeri ile değişimi	23
Şekil 4.21 C_D değerinin P değeri ile değişimi.....	25
Şekil 4.22 Unstructured ile Oluşturulan Grid	26
Şekil 4.23 Yatay fanlı Hoverkraft	27
Şekil 4.24 Yatay fanlı Hoverkraftın altının görünüşü	28
Şekil 4.25 Yatay fanlı Hoverkraftın çözüm alanı ve sınır şartları.....	29
Şekil 4.26 Yatay fanlı Hoverkraftın çözüm ağı.....	29
Şekil 4.27 İterasyon Sayısı ile Yakınsaklığın Değişimi	31
Şekil 4.28 $z=0.175\text{m}$ için hız kontürleri	31
Şekil 4.29 $z=0$ m için hız kontürleri	32
Şekil 4.30 $x=-0.5\text{m}$ için hız kontürleri	32
Şekil 4.31 $x=-0.195\text{m}$ için hız kontürleri	33
Şekil 4.32 $z=0.175\text{m}$ için yörüngeleri.....	33
Şekil 4.33 $z=0$ m için yörüngeleri.....	34
Şekil 4.34 $x=-0.195\text{m}$ için yörüngeleri.....	34
Şekil 4.35 $x=-0.5\text{m}$ için yörüngeleri.....	35

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Ahmed Body sayısal sonuçlar	15
Çizelge 4.2 Pervane Basıncı=1000Pa için Hoverkraftın Yerden Yüksekliğine göre Sonuçların Karşılaştırılması	22
Çizelge 4.3 Pervane Basıncı=2000Pa için Hoverkraftın Yerden Yüksekliğine göre Sonuçların Karşılaştırılması.....	22
Çizelge 4.4 Pervane Basıncı=3000Pa için Hoverkraftın Yerden Yüksekliğine göre Sonuçların Karşılaştırılması	23
Çizelge 4.5 H=5mm için Pervane Fark Basıncına göre Sonuçların Karşılaştırılması.....	24
Çizelge 4.6 H=10mm için Pervane Fark Basıncına göre Sonuçların Karşılaştırılması	24
Çizelge 4.7 H=15mm için Pervane Fark Basıncına göre Sonuçların Karşılaştırılması	25
Çizelge 4.8 Unstructured ile Structured Grid Sonuçların Karşılaştırılması	27
Çizelge 4.9 Steady çözüm ile Unsteady çözümün Sonuçların Karşılaştırılması.....	30

ÖNSÖZ

Gelişen dünya ile beraber insanların da talep ve gereksinimleri artmaktadır. Bu taleplere cevap vermek için de teknoloji her geçen gün gelişmekte ve insan hayatını kolaylaştırıcı yenilikler sunmaktadır. Yeni yüzyılda taşıt kullanımında yeni bir alternatif olarak ortaya çıkan hoverkraft, tekerlekli veya sadece suda gidebilen taşıtlara karşı bariz üstün özellikleri bulunmaktadır. Bu taşıt, henüz tam olarak yaygınlaşmamış ve en verimli şekilde kullanılamamıştır. Ancak aracı geliştirmek için birçok çalışmalar yapılmaktadır. Genellikle uygun bir dizaynı bulmayı amaçlayan bu çalışmalar, deneysel olarak yapıldığı takdirde çok büyük maliyet ve zaman kaybetmektedir.

Hesaplamalı akışkanlar mekaniği, bu noktada devreye girip çok daha az zaman ve yatırım gerektirdiği halde deneysel sonuçlara yakın sonuçlar ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada basit bir hoverkraft geometrisini etrafında oluşan hava akımları incelenmiştir. İncelenen hava yastıklı taşıt geometrisinin ve boyutlarının saptanmasında Yeditepe Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mehmet Akgün'ün önerilerinden faydalanılmıştır. Bu çalışmada bulunan sonuçlar Yeditepe Üniversitesi'nde imal edilmesi planlanan bir hava yastıklı taşıtın tasarımına kullanılabilir.

Yaklaşık bir yıl süren bu tez çalışmam boyunca, yardımlarını tüm içtenliğiyle sunan sayın hocam Prof. Dr. Oktay ÖZCAN başta olmak üzere, aileme, tüm arkadaşlarıma göstermiş oldukları anlayıştan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu çalışmada, genel bir hovercraft modeli için hoverkraftın etrafında oluşan akımlar incelenmiştir. Sayısal çözümler için FLUENT hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) paket programı kullanılmıştır. Çözümler sonucunda elde edilen sonuçlar incelenirken özellikle sürükleme katsayısı ve hoverkraftta etki eden kuvvetler üzerinde durulmuştur.

Sayısal uygulamaların ilkinde, hesaplamalı akışkanlar mekaniği için bir referans çözümü olan Ahmed Body adında küt bir taşıt modeli incelenmiştir. Daha sonra hoverkraft incelemesine geçilmiştir. İlk olarak basit bir hoverkraft modeli oluşturulmuş ve bu hoverkraftın sabit bir hızla sadece ileri doğru hareket yaptığı düşünülmüştür. Bu uygulama için hoverkraftın farklı yerden yükseklik değerleri ve farklı pervane basıncı değerleri için çözümler yapılmıştır. Elde edilen değerler tablo ve grafikler halinde sunulmuştur. Son uygulamada ise hoverkraftın hem ileri doğru hareket ettiği hem de gövdesindeki yatay bir fan sayesinde gövdenin yer ile temasının kesildiği durum ele alınmıştır. Bu uygulama için iki farklı çözüm yapılmış, sonuçlar tablo ve şekillerle ifade edilmiştir.

Yapılan sayısal çözümlerin tümü türbülanslı akım şartları için çözülmüştür. Araçların geometrileri Solidworks programında çizilip Gambit'e aktarılmıştır. Gambit'te çözüm alanı, sınır şartları ve çözüm ağı oluşturulup Fluent programında belirli parametreler girilip çözümler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hoverkraft, Türbülans modelleme, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD)

ABSTRACT

In this study it has been carried out to investigate air flows around the vehicle for a generic hovercraft model. The available computational fluid dynamics (CFD) package FLUENT has been used to obtain the numerical solutions. When checking the results, the drag coefficient and drag forces over the hovercraft were especially analyzed.

In the first numerical application, Ahmed Body, the reference model for computational fluid dynamics, was investigated. Then Hovercraft was investigated. Firstly a basic hovercraft model was investigated and this hovercraft was thought that it went only forward with a constant velocity. This hovercraft model was investigated for different height from the ground and propeller pressure. The solutions was presented in the tables and charts. In the last application, hovercraft goes forward and it has a horizontal fan over the body to cut the contact between hovercraft and ground. For this application, it was analyzed for two different models and solutions was presented in the tables and figures.

All the solutions are for turbulent flow mode. The geometry of the vehicles was drawn in Solidworks and then transferred to Gambit. In Gambit, Mesh area, mesh and boundary conditions was set and then in Fluent the applications was soluted entering the main parameters.

Keywords: Hovercraft, Turbulent modelling, Computational Fluid Dynamics (CFD)

1. GİRİŞ

Hoverkraft, diğer araçlardan ayrılan benzersiz özellikleriyle yakın gelecekte hayatımızda daha çok yer alacak, özellikle taşımacılık ve askeri alanda kullanımının yaygınlaşmasıyla hayatımıza yeni kolaylıklar sağlayacaktır. Bu tezde incelediğimiz hoverkraft modeli daha çok hoverkraftın küçük bir modelidir. Bu model, daha çok deneysel araştırmalar yapmak için uygundur.

İncelenen bütün araçların geometrisi Solidworks programı ile çizilmiştir. Daha sonra bu çizimler, Gambit programına aktarılıp burada çözüm alanı ve çözüm ağı oluşturulmuştur. Çözüm ağının sınır şartları da belirlendikten sonra şekil, Fluent programına aktarılarak gerekli parametreler girildikten sonra çözümler yapılır.

Fluent, sıkıştırılmaz, orta sıkıştırılabilir ve yüksek sıkıştırılabilir akımlar için bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) çözücüsüdür. Yakınsamayı hızlandıran çoklu ağ metoduyla beraber çoklu çözücü seçenekleri ile Fluent, geniş hız rejimleri aralıklarında optimum çözüm etkinliği ve hassasiyeti getirir. Fluent'teki fiziksel modellerin zenginliği, laminer, geçiş ve türbülanslı akışların ısı transferinin, kimyasal tepkimelerin ve diğer olguların sayısal ağ esnekliği ve çözüm tabanlı ağ uyarlaması ile hassas çözülmesine olanak sağlar. Ayrıca Fluent, mühendislik uygulamalarının hemen hemen hepsinde görülen türbülanslı akışın modellenmesi için de çeşitli seçenekler sunar.

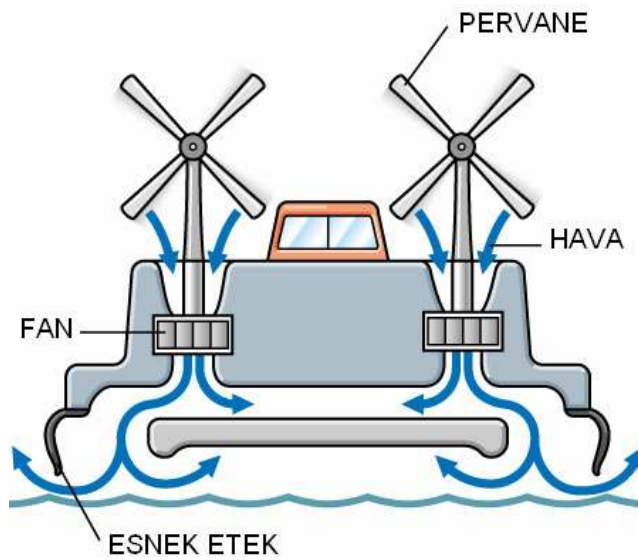
Çözümler yapılırken iki çekirdekli bir masaüstü bilgisayarı kullanılmıştır. İterasyon süreleri çözüm ağının hücre sayısına göre değişmektedir. Yaklaşık 1500000 hücreli bir uygulama için iterasyon süresi 100 iterasyon için 40 dakikadır.

2. HOVERKRAFT

Hoverkraft, her türlü pürüzsüz yüzeyde gitmesi için tasarlanan, alt kısmında yüksek basınçlı bir yastığı olan bir araçtır. Bu havalı yastık, hoverkraftın gövdesinin yer ile temasının kesilmesini sağlar. Hoverkraftlar, genelde birden fazla tip yüzeyin olduğu yollarda kullanılırlar. Çünkü hoverkraftlar, çalışma prensipleri gereği yerden bağımsız olarak hareket ederler. Toprak, buz veya su üstünde yol alabilirler. Küçük tip hovercraftlar genelde yolcu taşıma veya sürücüsüz olarak keşif amaçlı için kullanılırlar. Büyük tüp hoverkraftlar ise genelde araba, tank gibi araçları taşımak için inşaat sektöründe ve askeri amaçlı kullanılırlar.

Hoverkraft, aracın alt tarafından püskürtülen basınçlı hava ile meydana getirilen hava tabakası üzerinde istenilen yöne hareket edebilen araçlardır. Bu araçlar zeminden bir hava tabakası ile ayrıldığından her türlü zeminde gidebilme özelliğine sahiptir. Araç zemine değmediğinden bundan doğacak sürtünmeden ve diğer etkilerden zarar görmezler. Daha hızlı ve kolay hareket edebilirler. Bilhassa deniz taşıtlarında suyun sürtünmesinden ve geminin suyu dalgalandırmasından doğan kayıplardan etkilenmediklerinden güç ve enerjiden büyük kazanç sağlarlar. Hoverkraftlar aynı büyüklük ve güçteki gemilere göre iki kat hızlı gidebilir.

Tipik bir hoverkraft modeli aşağıda gösterilmiştir.

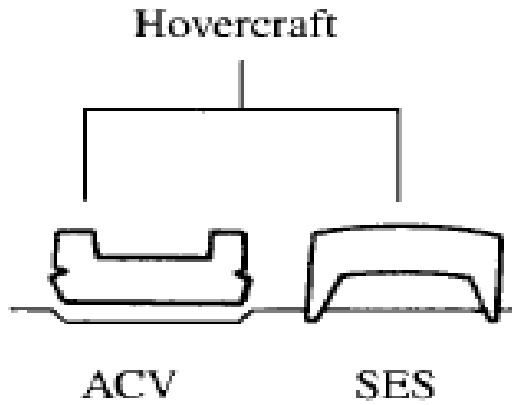


Şekil 2.1 Hoverkraft

Hovercraftın bu modeline hava yastıklı araç (ACV) denmektedir. Gövdenin üzerinde yatay durumda bulunan fanlar, havayı hoverkraftın altına doğru basarak etek kısmına gönderirler. Hava ile dolan etekten geçen hava yer ile hoverkraft arasında bir basınç oluşturur ve bu basınç hoverkraftın yer ile temasının kesilmesini sağlar. Aracın dengesi ise aracı çevreleyen kenarlar boyunca hava püskürterek sağlanır. Gövdenin üzerindeki ayakların ucuna tutturulmuş fanlar ise hoverkraftın ileri doğru hareket etmesini sağlar.

Hava yastığı, aracın, taşımacılığın yanında esnekliği ile de, engebe ve dalga gibi zeminin şekillerinden etkilenmeden sarsıntısız yolculuk yapmasını sağlarlar. Bilhassa askerî alanda hem kara hem de denizde hareket kabiliyetleri ve kullanımıyla üstün özellikler gösterirler. Denizlerde; hem denizaltılardan etkilenmedikleri, torpillenemedikleri için, hem de hava yastığının ses geçirmez özelliği dolayısıyla sonar gibi âletlere yakalanma tehlikeleri olmadığından motor gürültüleri duyulmaz ve tesbit edilemezler. Ayrıca araç denizden karaya ve karadan denize hiçbir güçlükle karşılaşmadan geçebilir. Bu yüzden pahalı liman tesislerine lüzum olmamakla, sığ bir kumsal bile bunlara yeterli olmaktadır. Ayrıca zeminden etkilenmediğinden kutuplarda ve donmuş bölgelerde rahatça hareket eder. Ağır yükleri de taşıyabilirler.

Bir diğer hoverkraft modeli de SES (Surface effect ship) denilen modeldir. Bu modelde araç ile yer teması kesilmiyor ancak yere temas eden yüzey alanı çok düşük mertebelerde tutuluyor. Aracın altındaki boşluktan giren hava, aracın alt yüzeyine bir kaldırma kuvveti uyguluyor. Bu kaldırma kuvveti de sürtünmeyi azaltıp aracın daha hızlı gitmesini ve daha az enerji tüketmesini sağlıyor. Ancak bu model sadece suda gidebilir. (Yun, 2000)



Şekil 2.2 Hoverkraftın sınıflandırılması

2.1 HOVERCRAFTIN TARİHÇESİ

Hoverkraft, 1956 yılında Christopher Cockerell tarafından icat edilmiştir. Christopher Cockerell ilk olarak su yüzeyinde giden bir araç yapıp araç ile su yüzeyi arasında hava ile bir tabaka oluşturup sürtünmeyi azaltmayı amaçlamıştır.

Cockerell, altına kadar sarkan, uzun etekli bir gemi tasarladı. Güvertedeki vantilatörlerin emdiği hava teknenin altına doğru "dış yüzey jetleri" denilen güçlü akımlar oluşturarak iletliyordu. Basınçlı hava, etek tarafından emiliyor ve tekneyi havaya kaldıran bir havayastığı oluşturuyordu. Böylece taşıt su gibi düzgün yüzeylerde havada ilerliyordu.

İlk Hoverkraft 1959'da Wight Adasından İngiltere'ye sefer yaptı. Birkaç hafta sonra aynı araç Manş Denizini iki saatte geçti. İlk düzenli seferlere 1965'de Wight Adasıyla İngiltere arasında başlandı. Günümüzde araba ve yolcu taşıyan SR-N4'lerden meydana gelen bir filo, İngiltere ile Fransa arasında sefer yapmaktadır. Bu hatta deniz trafiğinin üçte biri bu şekilde gerçekleştirilmektedir.

3. SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMİ VE YÖNETİCİ DENKLEMLER

3.1 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Birçok mühendislik uygulama alanında karşılaşılan akışlar, karmaşık geometriler etrafında olup, oldukça üç-boyutlu, zamana bağlı olarak değişen, kopmalı ve türbülanslı akışlardır. Bu tür üç-boyutlu karmaşık akış problemlerinin paralel bilgisayar öbeklerinin daha yaygın kullanımı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ve yüksek başarılı hesaplamalar ile çözümü ve simülasyonları günümüzde mümkün olmaya başlamıştır. Böylece HAD simülasyonları artık bütün bilim ve mühendislik alanlarında önemi artan bir rol oynamaktadır. Türbülanslı akışlar üç boyutlu, zamanla değişen, düzensiz akışlardır. Türbülanslı akışlarda zaman ölçekleri ve uzayda uzunluk ölçekleri geniş bir dağılıma sahiptir ve Reynolds sayısı ile artmaktadır. En büyük uzunluk ölçeği hesaplama alanı ile ilgili, en küçük uzunluk ölçeği ise viskoz etkilerin baskın olduğu yerdeki yitime neden olan küçük eddi'lerle (eddy) ilgilidir. Literatürde türbülanslı akışların hesaplamaları için çeşitli modelleme ve simülasyon metodları önerilmiştir: direk sayısal simülasyonlar (Direct Numerical Simulations, DNS), büyük eddi simülasyonları (Large Eddy Simulations, LES), Reynolds-ortalama Navier-Stokes (Reynolds Averaged Navier-Stokes, RANS) çözümleri ve hibrit metodlar (Detached Eddy Simulations, DES). (Date, 2005)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonlarında bir bütün olarak ele alınması gereken adımlar şunlardır: ön-işleme (preprocessing), hesaplama (computation) ve ard-işleme (postprocessing). Ön-işleme adımında, probleme uygun geometrinin tanımlanması ve katı modelleme yazılımları ile oluşturulması, geometriye uygun hesaplama alanının belirlenmesi, yapısal veya yapısal olmayan çözüm ağının çözüm ağı üretme (grid generation) yazılımlarıyla oluşturulması, ve son olarak bu çözüm ağının akış çözücüye uygun formatta hazırlanması işlemleri vardır. Hesaplama adımında, uygun sayısal yöntemler, uygun algoritmalar ve uygun sınır koşullarının seçilmesi ile hesaplama alanı ve çözüm ağı üzerinde akış çözümleri (flow solver) kullanılarak hesaplamalar yapılır. Ard-işleme adımında ise hesaplama adımında elde edilen sayısal çözümün yani verilerin analiz edilmesi, ard-işleme yazılımları ile uygun şekilde çizgi grafikler, eş değer eğrileri, üç boyutlu görüntü ve animasyonlar ile görüntülenmesi ve yorumlanması işlemleri yapılır. Ayrıca, paralel hesaplama yaparken problemlerin ve dolayısıyla verilerin büyüklüğü arttıkça hesaplamalı yönlendirme (computational steering) ve gerçek zamanlı

görüntülemenin (real-time visualization) de önemi artmaktadır. Paralel öbek bilgisayarlarında paralel bir program çalışırken programa müdahale edebilmek, değişkenleri veya yöntemleri değiştirebilmek yani hesaplamalı yönlendirme yapabilmek ve gerçek zamanlı olarak çözümü bilimsel olarak görüntüleyebilmek, hatta yapay gerçeklik sistemlerinin (virtual reality systems) kullanımı mümkün olabilmekte ve bütün bunlar kullanıcılara kolay analiz imkanı sağladığı için oldukça önemli hale gelmektedir. (Tu, 2008)

3.2 Türbülans Modelleme

Türbülans modelleme, hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümlerinde önemli bir noktadır. Hemen hemen bütün mühendislik uygulamalarında türbülanslı akımlar görülür. Bu yüzden de bir türbülans modeline ihtiyaç duyulur.

Türbülans modellerinin genel olarak sınıflandırılması aşağıdaki gibi yapılabilir.

- **RANS türbülans modelleri**

1. **Linear eddy viskozite modelleri**

1. Cebirsel modeller

1. Cebeci-Smith modeli
2. Baldwin-Lomax modeli
3. Johnson-King modeli
4. Pürüzlülüğe bağlı model

2. Bir eşitlikli modeller

1. Prandtl'in bir eşitlikli modeli
2. Baldwin-Barth modeli
3. Spalart-Allmaras modeli

3. İki eşitlikli modeller

1. k-epsilon modeli
 1. **Standard k-epsilon modeli**
 2. Gerçekleştirilebilir (Realizable) k-epsilon modeli
 3. RNG k-epsilon modeli
 4. Duvara Yakın Davranış (Near-wall treatment)
2. k-omega modeli

1. Wilcox'ın k-omega modeli
 2. Wilcox'ın geliştirilmiş k-omega modeli
 3. SST k-omega modeli
 4. Duvara Yakın Davranış (Near-wall treatment)
3. Gerçekleştirilebilir durumlar
 1. Kato-Launder değişikliği
 2. Durbin'in gerçeğe uygun sınırlama
 3. Gerçekdışı durum düzeltme
 4. Gerçekçilik ve Schwarz'ın eşitsizliği
2. **Linear olmayan eddy viskozite modeli**
 1. Kesin lineer olmayan esaslı ilişki
 1. Kübik k-epsilon
 2. EARSM
 2. v2-f modelleri
 1. $\overline{v^2} - f$ modeli
 2. $\zeta - f$ modeli
 3. **RSM (Reynolds stress model)**
- **LES (Large eddy simulation)**
 1. Smagorinsky-Lilly modeli
 2. Dinamik subgrid-scale modeli
 3. RNG-LES modeli
 4. WALE modeli (Wall-adapting local eddy-viscosity)
 5. Kinetik enerji subgrid-scale model
 6. Duvara Yakın Davranış (LES modelleri için)
 - **DES modeli (Detached eddy simulation)**
 - **DNS modeli (Direct numerical simulation)**
 - **Duvara yakın türbülans modelleme**
 - Türbülanslı serbest akış koşulları
 1. Türbülans yoğunluğu
 2. Uzunluk ölçekli türbülans

3.2.1 Standart k-ε modeli

Bu tezde yer alan çözümlerde standart k-ε modeli kullanılmıştır. k-ε modeli, türbülans kinetik enerjisini etkileyen mekanizmalara odaklanır. Türbülanslı bir akımın anlık kinetik enerjisi $k(t)$, kinetik enerji (K) ve türbülans kinetik enerjisi (k) toplamıdır. (Versteeg, 1995)

$$k(t) = K + k \quad (3.1)$$

Kinetik enerji,

$$K = \frac{1}{2} \times (U^2 + V^2 + W^2) \quad (3.2)$$

Türbülans kinetik enerjisi,

$$k = \frac{1}{2} \times (u^2 + v^2 + w^2) \quad (3.3)$$

şeklinde basit olarak formülize edilebilir.

Standart k-ε modelinde, k ve ε olmak üzere iki model eşitliği vardır. Bu iki eşitlik kullanılarak değerlerdeki değişimler en iyi şekilde tespit edilir.

Standart k-ε modeli için taşınım eşitlikleri:

Türbülans kinetik enerjisi (k) için,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3.4)$$

ε için,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (P_k + C_{3\epsilon} P_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (3.5)$$

Türbülans viskozitesi,

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.6)$$

S , ortalama deformasyon hızı:

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (3.7)$$

Diğer değerler için aşağıdaki formüller kullanılabilir.

$$P_k = -\overline{\rho u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3.8)$$

$$P_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (3.9)$$

$$P_k = \mu_t S^2 \quad (3.10)$$

Pr_t , türbülansın Prandtl numarasıdır. g_i , ise yerçekimi kuvvetidir. Standard $k - \epsilon$ modeli için Pr_t değeri 0.85 'dir.

Termal genişleme katsayısı β ,

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (3.11)$$

formülleriyle ifade edilir.

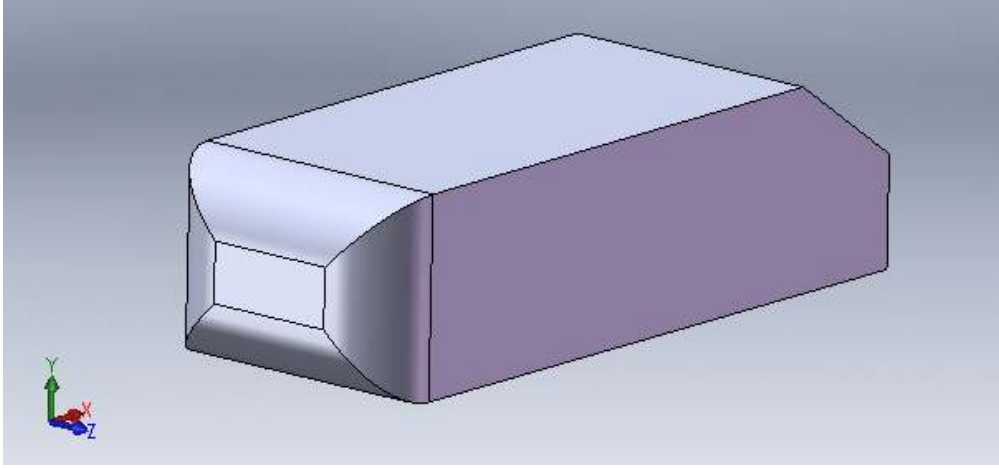
4. SAYISAL ÇÖZÜMLER

4.1 Ahmed Body

Günümüzde otomobil sektöründe gerçeğe yakın araba simülasyonlarıyla arabanın etrafında oluşan akımların incelenip uygun araç dizaynının elde edilmesi otomobil üreticileri için hem ekonomik hem de zaman açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tip uygulamalar için Ahmed Body , geri eğim açısı ile bir referans modeli oluşturmaktadır. Basit geometrisine rağmen Ahmed Body bir araba etrafında oluşacak başlıca akımları inceleme fırsatını verir.

Ahmed Body referans modeli, tezimizin ana konusu olan hoverkraft çözümlenmeleri için bir ön çalışma olarak yapılmıştır. Ahmed Body çözümünde elde edilen çözüm ve tecrübeler hoverkraft içinde bir temel oluşturacaktır.

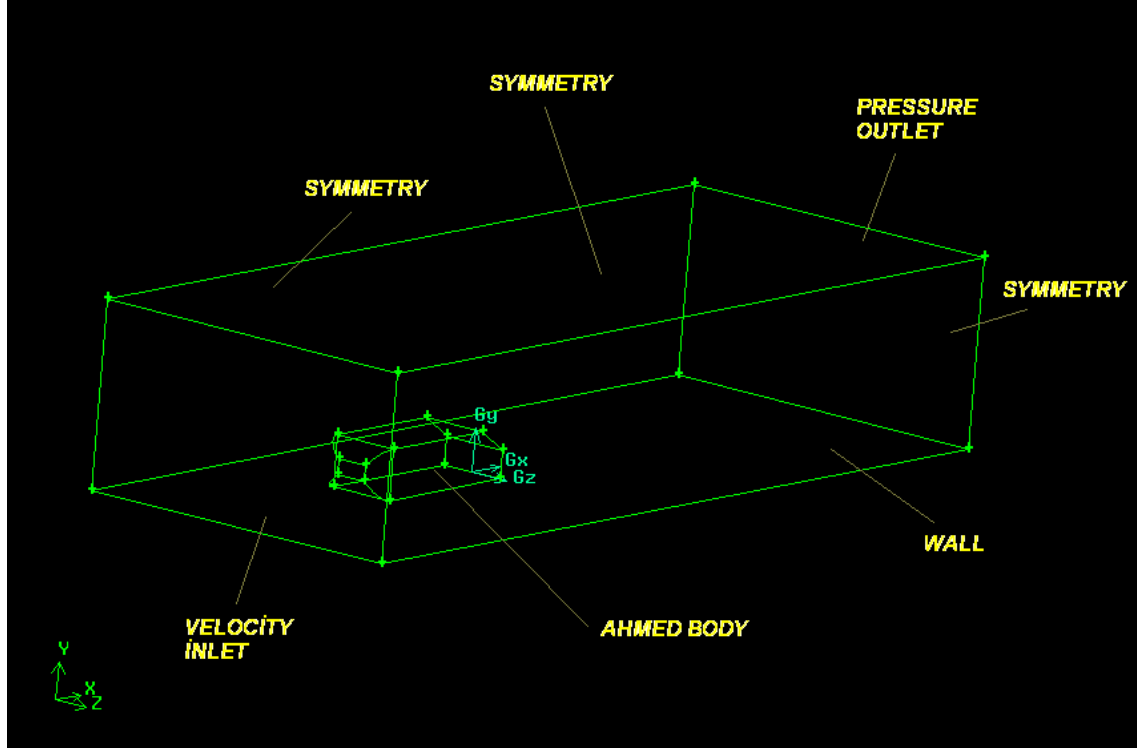
Literatürde Ahmed Body'nin çeşitli geri eğim açılara göre çözümleri bulunmaktadır. Bu tezde 35° geri eğim açısı için çözüm yapılmıştır. Aracın uzunluğu 1044mm, yüksekliği 286 mm, genişliği ise 389mm alınmıştır. (Hossler, 2007). İterasyon süresi 800 iterasyon için yaklaşık 5 saattir.



Şekil 4.1 Solidworks programında çizilen Ahmed Body.

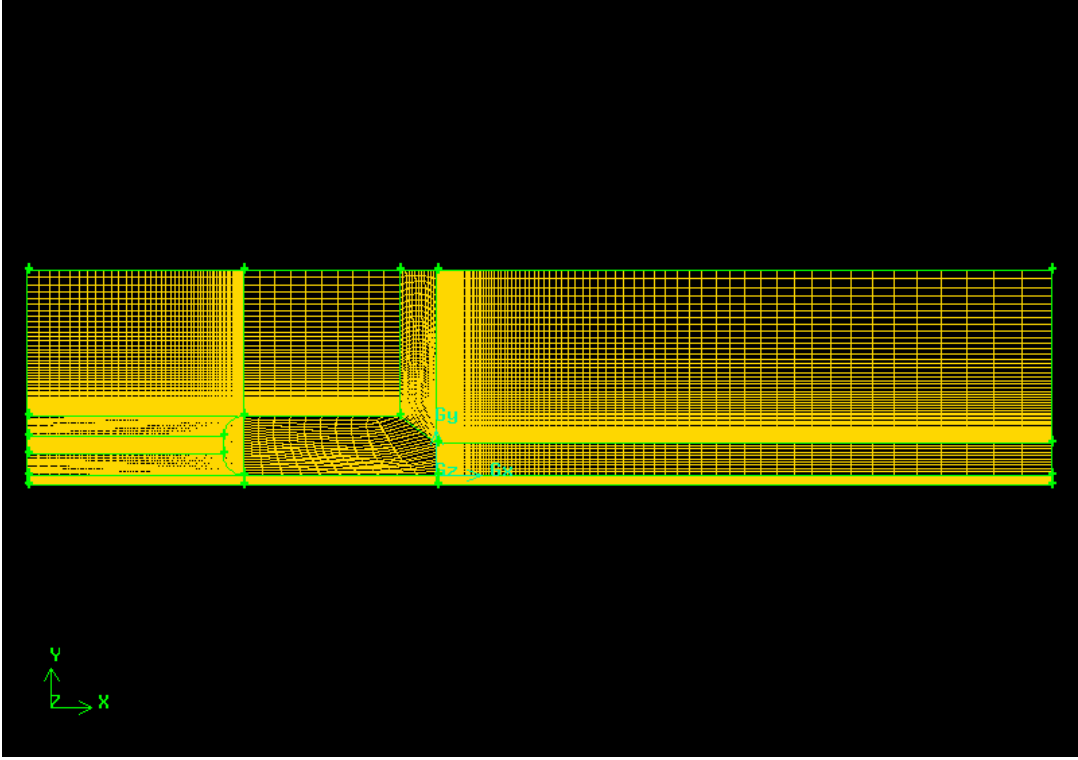
Çözüm yapılırken gerekli olan veriler, Ahmed Body ile ilgili olan makalelerden alınmış ve çözümler bu makalelerdeki değerlerle karşılaştırılmıştır. (Bruneau, 2007) Giriş hızı olarak 40 m/s , aracın yerden yüksekliği ise 50mm alınmıştır. Çözüm alanı z ekseninde aracın 2 katı, x yönünde aracın 5 katı ve y yönünde aracın 2 katı uzunluktadır. Çözüm

ağının ön tarafı VELOCITY İNLET sınır şartı, arka tarafı PRESSURE OUTLET sınır şartı, ön ve yan taraflar SYMMETRY sınır şartı, alt ve aracın sınırları WALL sınır şartı olarak seçilmiştir. Çözüm alanı ve sınır şartları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



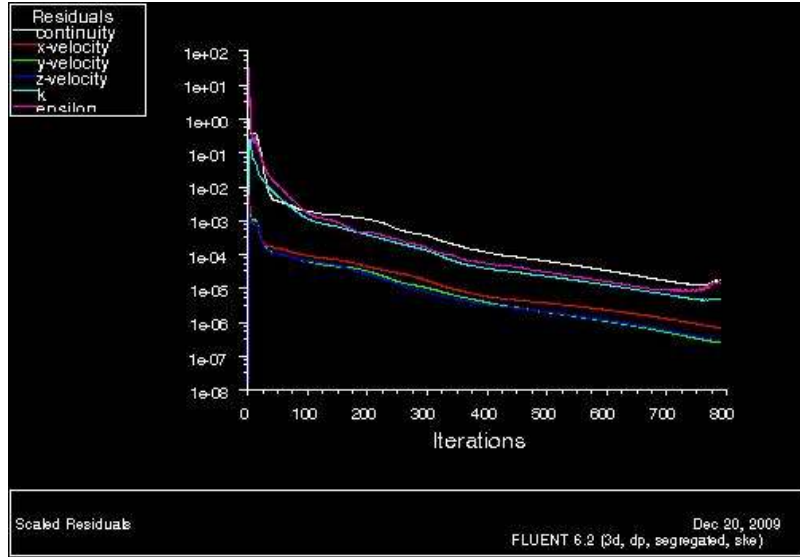
Şekil 4.2 Ahmed Body çözüm ağı ve sınır şartları

Çözüm ağı için oluşturulan grid structured'dir. Oluşturulan gridin hücre sayısı 1115000 civarındadır.



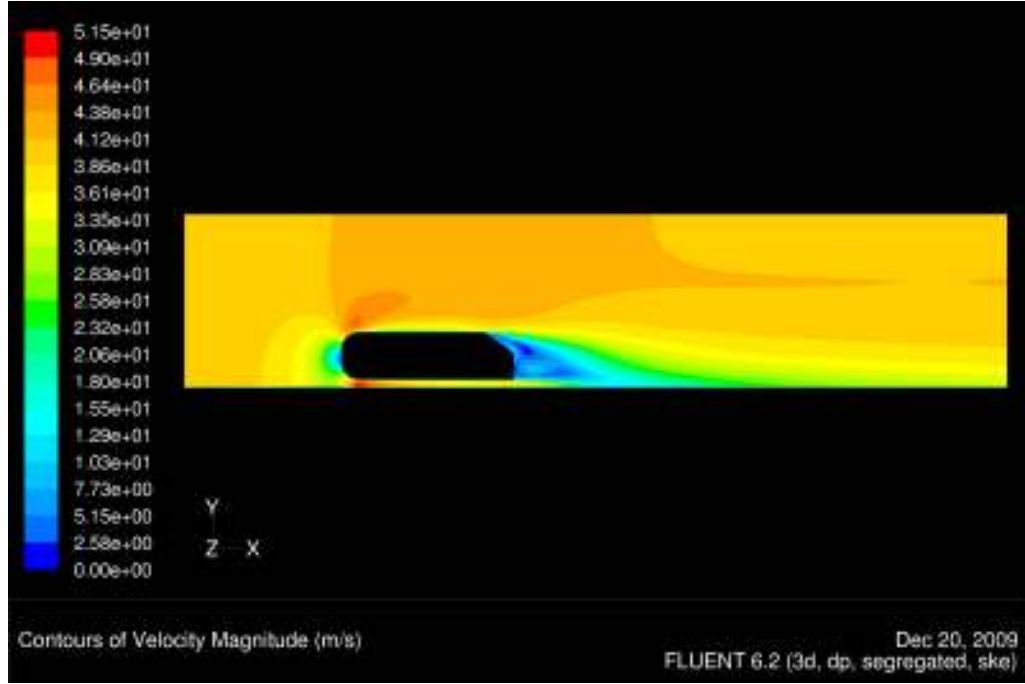
Şekil 4.3 Ahmed Body mesh

Fluent ile yapılan yaklaşık 800 iterasyon sonrasında oluşan iterasyon grafiği aşağıda gösterilmiştir. İterasyonlar sonucunda 10^{-4} civarında bir yaklaşım elde edilmiştir.

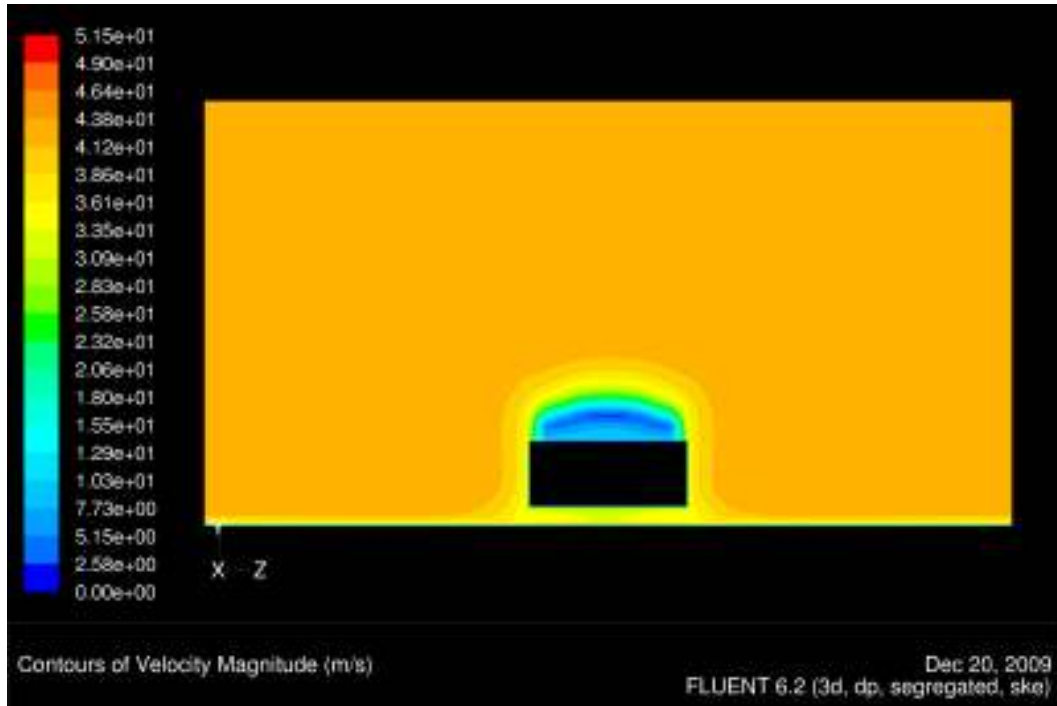


Şekil 4.4 İterasyon sayısı ile yakınsaklığın değişimi.

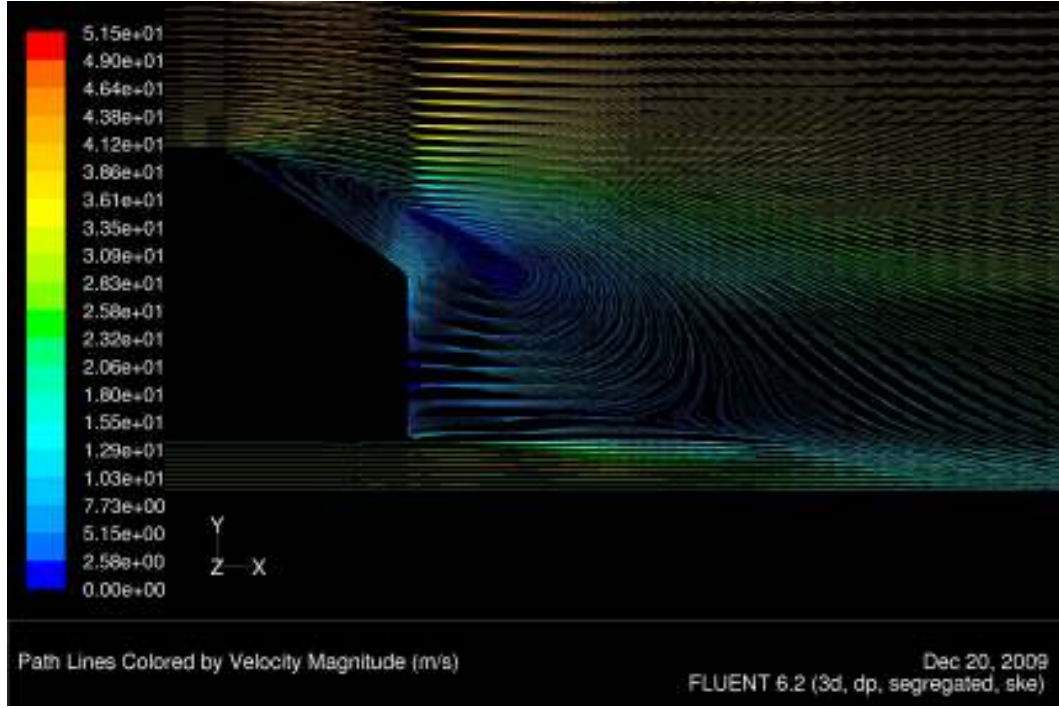
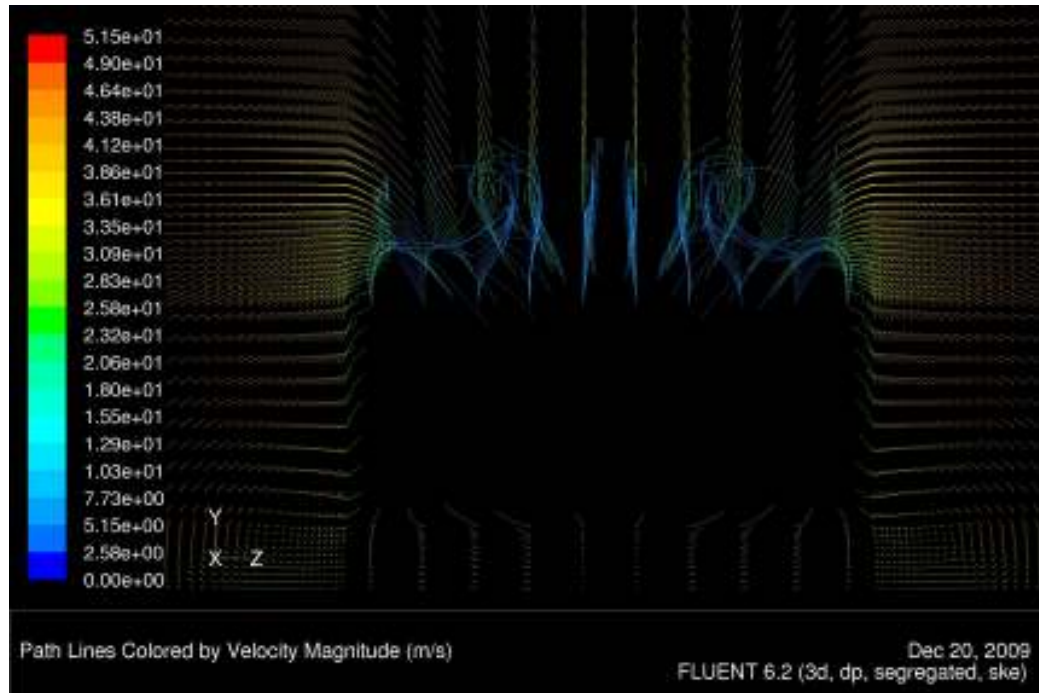
Elde edilen çözüm için Fluent'ta çizdirilen şekiller aşağıda gösterilmiştir.



Tablo 4.5 $z=0$ Düzleminde Hız Kontürleri.



Şekil 4.6 $x=0$ Düzleminde Hız Kontürleri.

Şekil 4.7 $z=0$ Düzleminde Yörüngeler.Şekil 4.8 $x=0$ Düzleminde Yörüngeler.

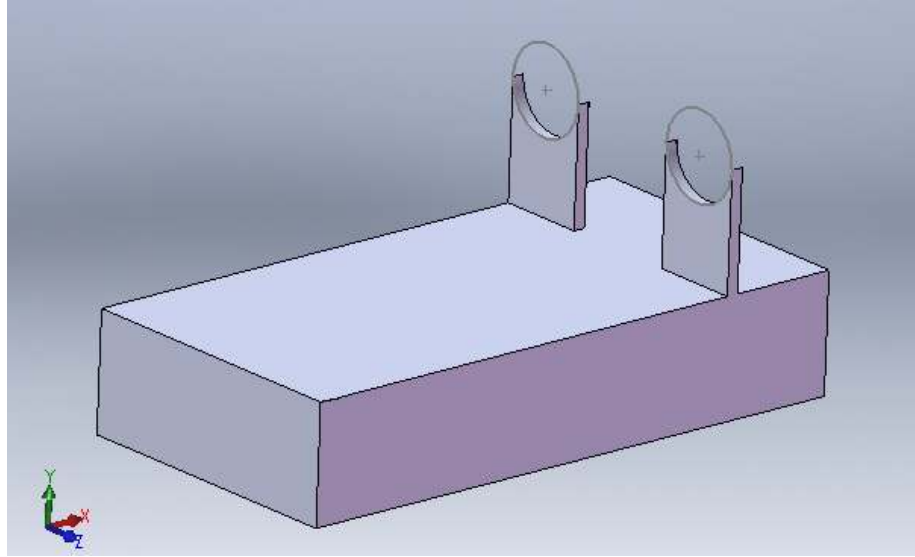
Sayısal çözüm sonrası elde edilen sonuçlar aşağıda tablo halinde verilmiştir. A alanı, aracın akım yönüne dik olan kesit alanıdır. Sürüklenme katsayısı değeri; $C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \times \rho U_\infty^2 A}$ formülü ile de hesaplanabilir.

Çizelge 4.1 Ahmed Body sayısal sonuçlar.

	35 DERECE
HÜCRE SAYISI	1392000
TÜRBÜLANSLI ÇÖZÜM	ke-standart
GİRİŞ HIZI	40 m/s
ARACIN YERDEN YÜKSEKLİĞİ	50 mm
A	0.114 m ²
C_D	0,44
F	48,36 N

4.2 İLERİ DOĞRU HAREKET EDEN HOVERKRAFT

İlk olarak incelenen hoverkraft modeli basit bir geometriye sahiptir. Gövdenin üzerinde bulunan iki adet pervane ile ileri hareketini yapmaktadır. Hoverkraftın sabit olarak yerden belli bir yükseklikte hareket ettiği varsayılır.

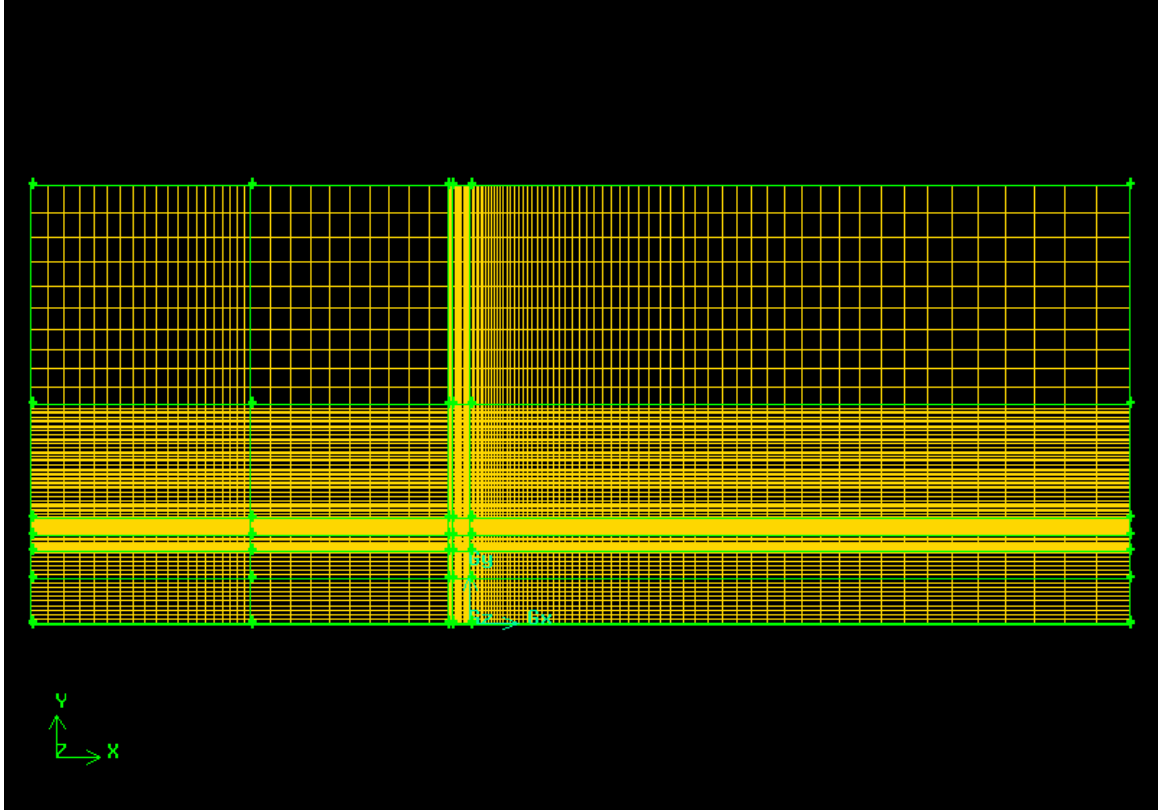


Şekil 4.9 Solidworks programında çizilen Hoverkraft

Hoverkraftın Fluent ile yapılan sayısal çözümünde araç 10 m/s sabit hızlı bir rüzgar tünelinin içindeymiş gibi düşünülür. Hovercraftın yerden yüksekliği için 3 tane farklı değer (5mm, 10mm ve 15mm) verilir. Pervanelerin fark basınçları için de 3 tane farklı değer (1000Pa, 2000Pa, 3000Pa) verilerek 9 adet çözüm yapılmıştır. Bu çözümlerden elde edilen sonuçlar, tablo ve grafikler halinde karşılaştırmalı olarak sunulur.

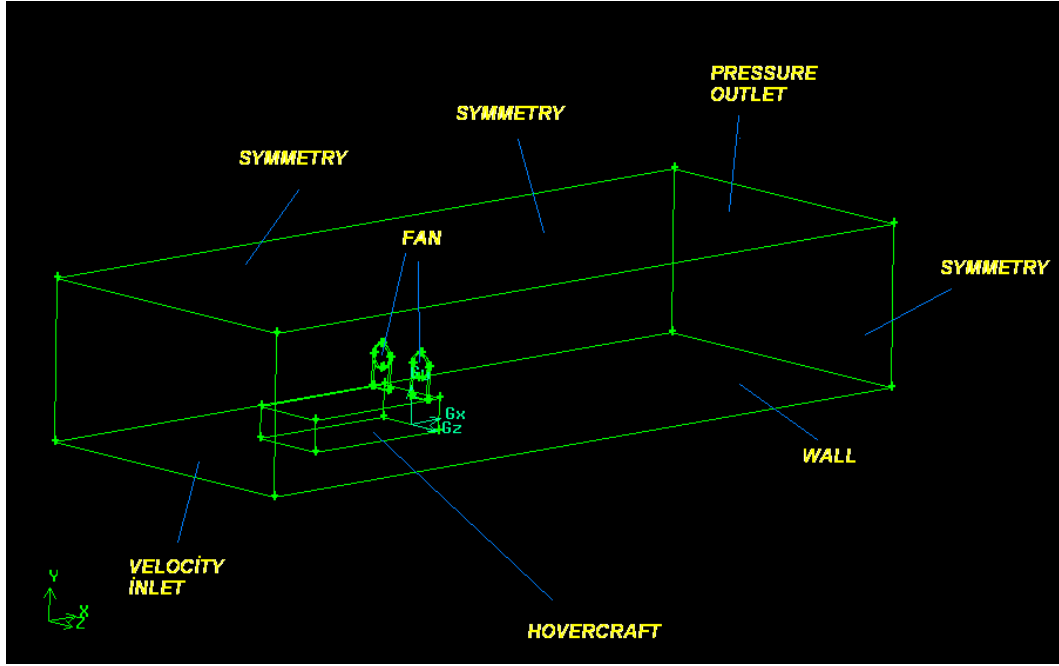
Hoverkraft için oluşturulan çözüm alanı Hovercraft boyunun (L) ,z yönünde 3 katı kadar, y yönünde 2 katı kadar ve x yönünde toplam 6 katı (3 katı aracın arkasında ve 2 katı aracın önünde olmak üzere) kadardır.

Çözüm alanında oluşturulan çözüm ağı structured grid olarak oluşturulmuştur. Çözüm ağının toplam hücre sayısı 1150000 ile 1312000 arasında hovercraftın yerden yüksekliğine göre değişir. Çünkü hovercraftın yerden yüksekliği attıkça çözüm ağı az da olsa genişlemektedir.



Şekil 4.10 H=10mm için oluşturulan çözüm ağı.

Daha sonra oluşturulan bu çözüm ağı için sınır şartları belirlenmiştir. Hoverkraftın ön tarafında kalan sınır düzlemi için velocity inlet sınır şartı arka tarafında kalan düzlem için pressure outlet sınır şartı seçilmiştir. Hoverkraft geometrisi sınırları ve alt tabaka yani yer için WALL sınır şartı, çözüm ağının yan ve üst bölgeleri için ise SYMMETRY sınır şartı uygun görülmüştür. Pervaneleri oluşturan bölgeler için de FAN sınır şartı seçilmiştir.



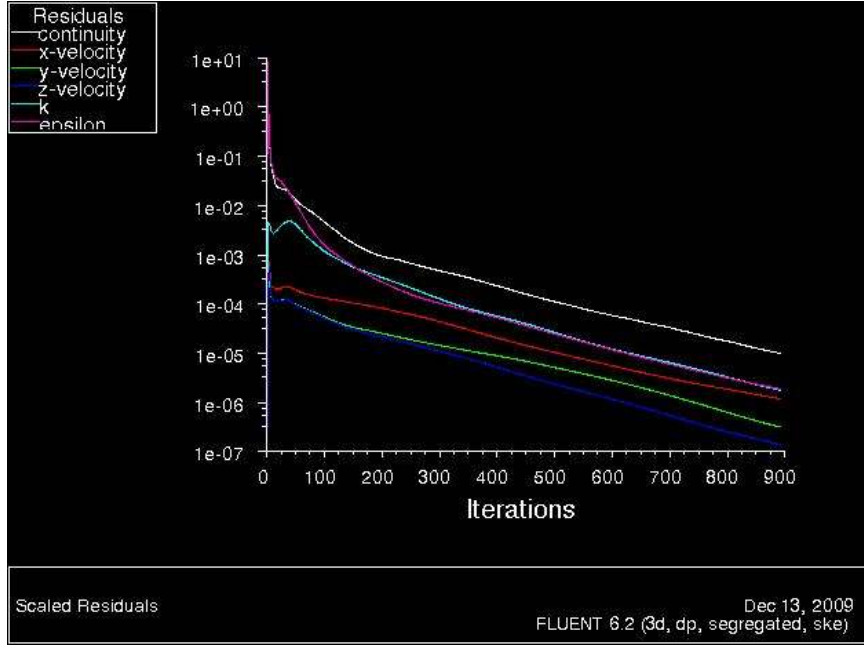
Şekil 4.11 Hoverkraftın çözüm ağı ve sınır şartları

Sınır şartları da belirlendikten sonra FLUENT ile çözümler yapılmaktadır. Bu çözümler yapılırken türbülanslı akım için kullanılan k-ε (standart) çözüm yöntemi kullanılmıştır. Ortam basıncı olarak 1atm (101,3 kPa) seçilmiştir. Giriş hızı olarak 10 m/s sabit hız alınmıştır.

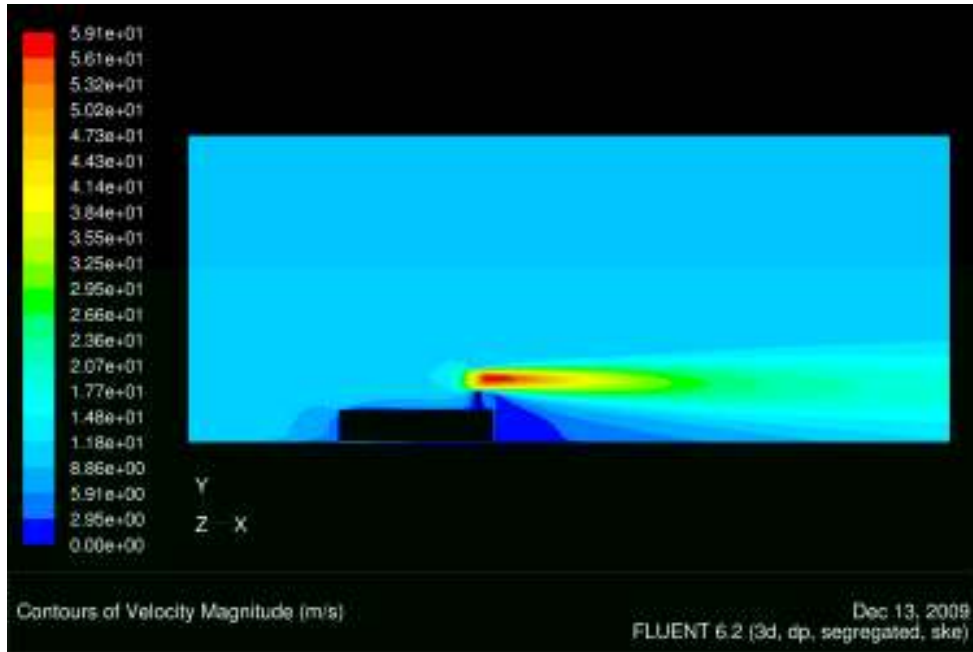
Bu değerler girildikten sonra yapılan iterasyonlar sonucu 9 adet çözüm için de 10^{-5} yakınlıkta çözümler elde edilmiştir. Çözümler için hız kontürleri, yol çizgileri çizilmiş ve sürüklenme etkisi ile hovercraftta etkiyen kuvvetler hesaplanmıştır. İterasyon süreleri 1000 iterasyon için yaklaşık 8 saattir.

Sürüklenme katsayısı hesaplamak için gerekli olan alan olarak akımın geldiği yöndeki hoverkraftın kesit alanı (0.142 m²) alınmıştır. Sürüklenme katsayısı ; $C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \times \rho U_\infty^2 A}$ formülünden de hesaplanabilir.

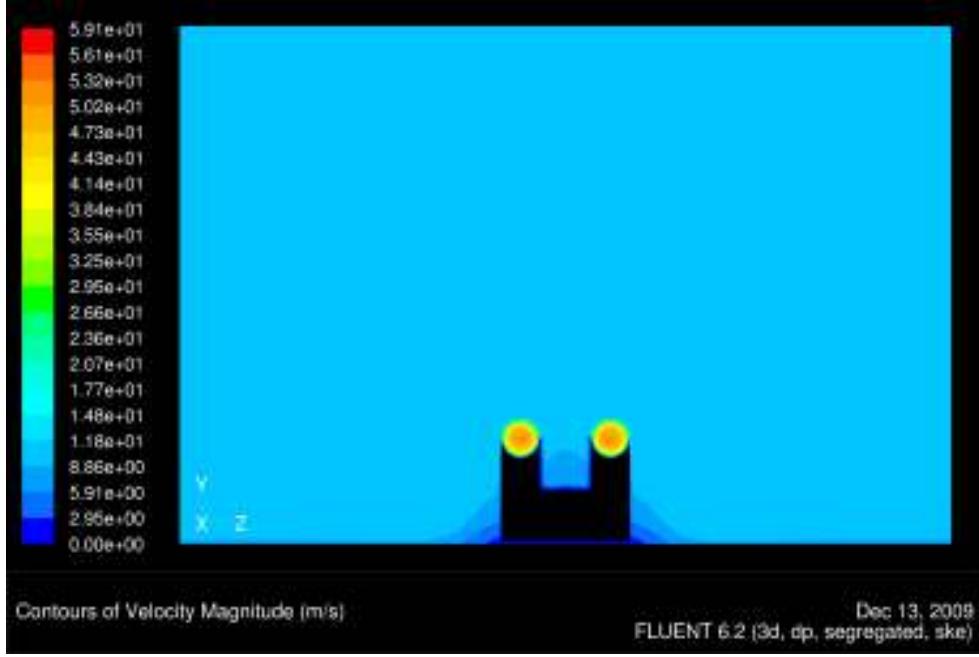
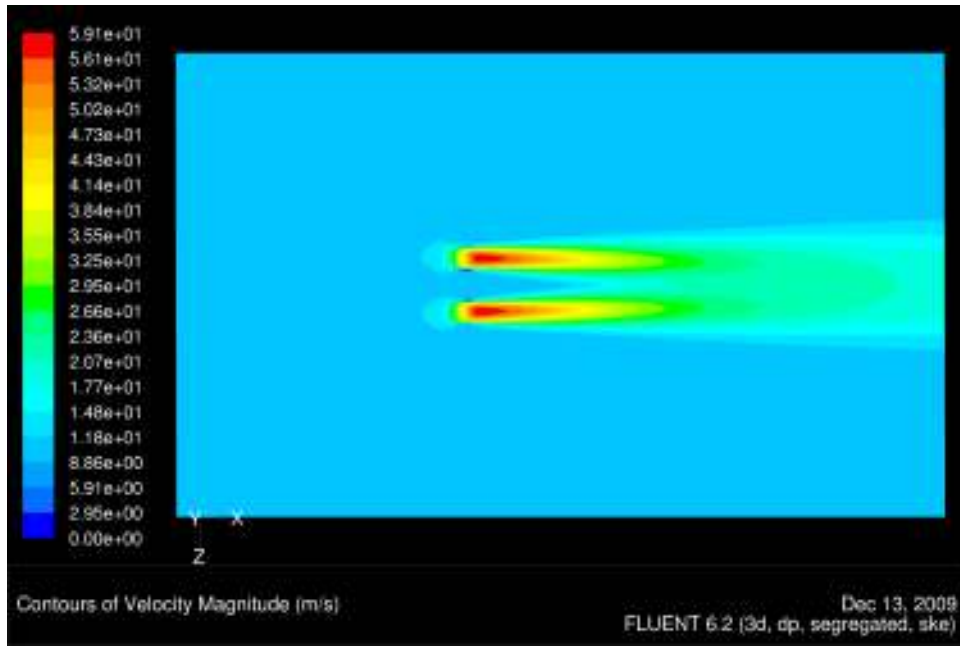
H=10mm ve P=2000Pa için çizimler aşağıda gösterilmiştir.

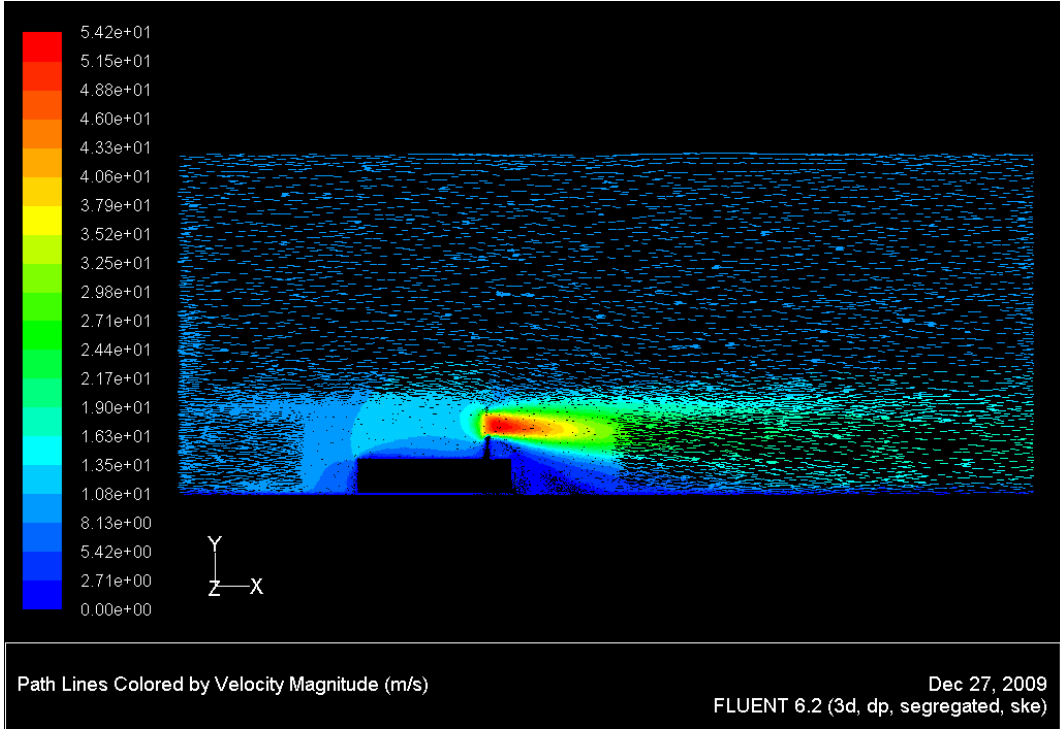


Şekil 4.12 İterasyon Sayısı ile Yakınsaklığın Değişimi.

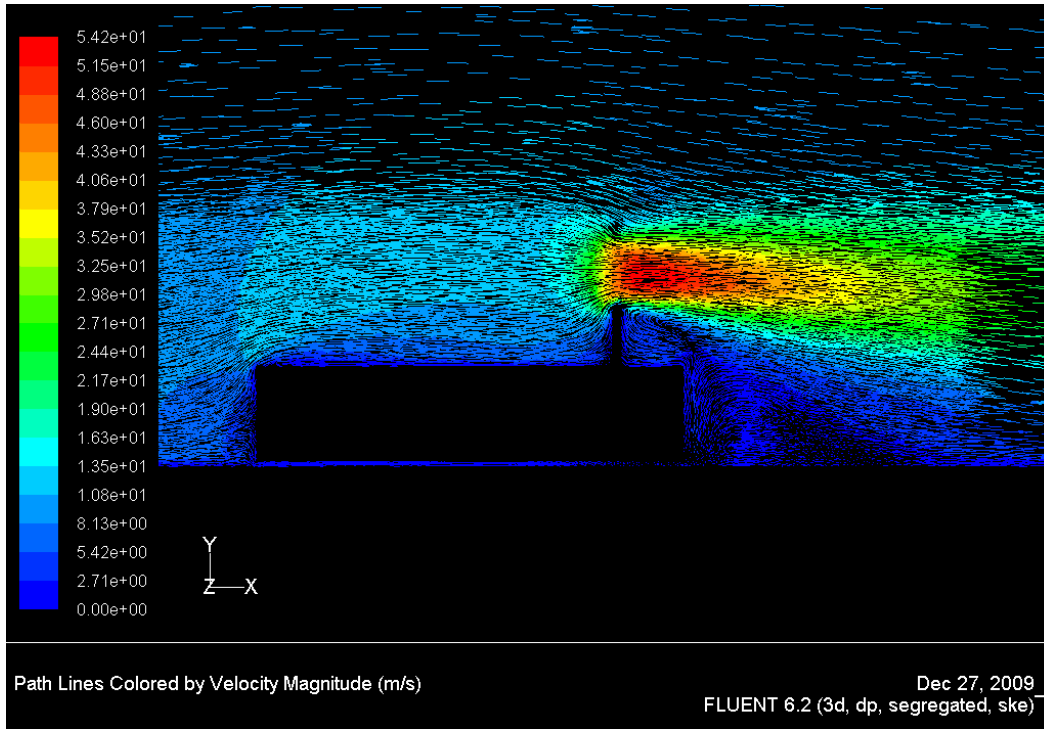


Şekil 4.13 $z=0.175m$ düzlemindeki hız kontürleri

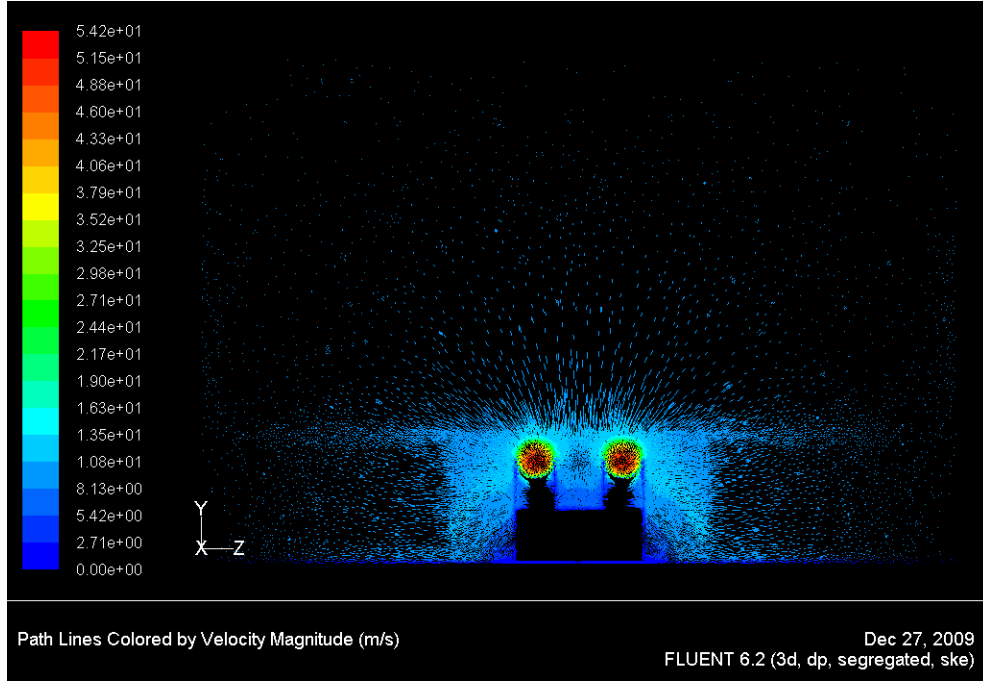
Şekil 4.14 $x=-0.095\text{m}$ düzlemindeki hız kontürleriŞekil 4.15 $y=-0.4\text{m}$ düzlemindeki hız kontürleri



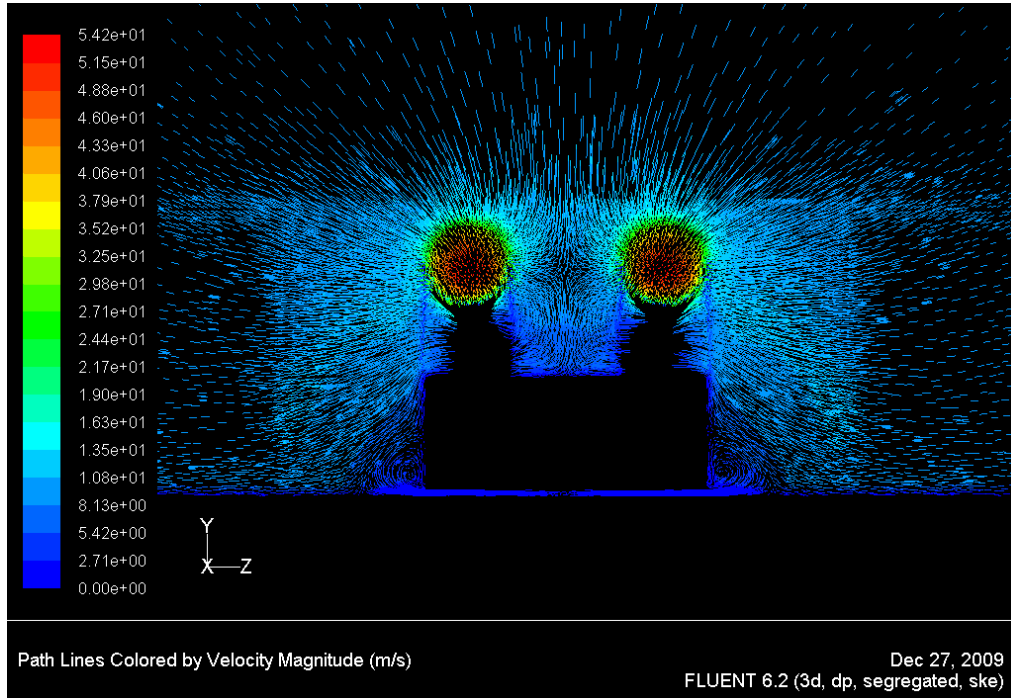
Şekil 4.16 $z=0.175\text{m}$ düzlemindeki Yörüngeler.



Şekil 4.17 $z=0.175\text{m}$ düzlemindeki Yörüngelerin Yakınlaştırılmış Görünümü.



Şekil 4.18 $x=-0.195\text{m}$ düzlemindeki Yörüngeler



Şekil 4.19 $x=-0.195\text{m}$ düzlemindeki Yörüngelerin Yakınlaştırılmış Görünümü.

Çizelge 4.2 Pervane Basıncı=1000Pa için Hoverkraftın Yerden Yüksekliğine göre
Sonuçların Karşılaştırılması.

	H = 5mm	H = 10mm	H = 15mm
HÜCRE SAYISI	1150000	1250000	1312000
AKIM ÇEŞİDİ	ke-standart	ke-standart	ke-standart
GİRİŞ HIZI	10 m/s	10 m/s	10 m/s
FAN BASINCI	1000 Pa	1000 Pa	1000 Pa
10 ⁻⁵ YAKINLIKTA ÇÖZÜM ELDE ETMEK İÇİN GEREKEN İTERASYON SAYISI	712	841	881
SÜRÜKLEME ETKİSİ (C _D)	1,037	1,050	1,062
HOVERKRAFTA ETKİYEN KUVVET (N)	9,018	9,132	9,238

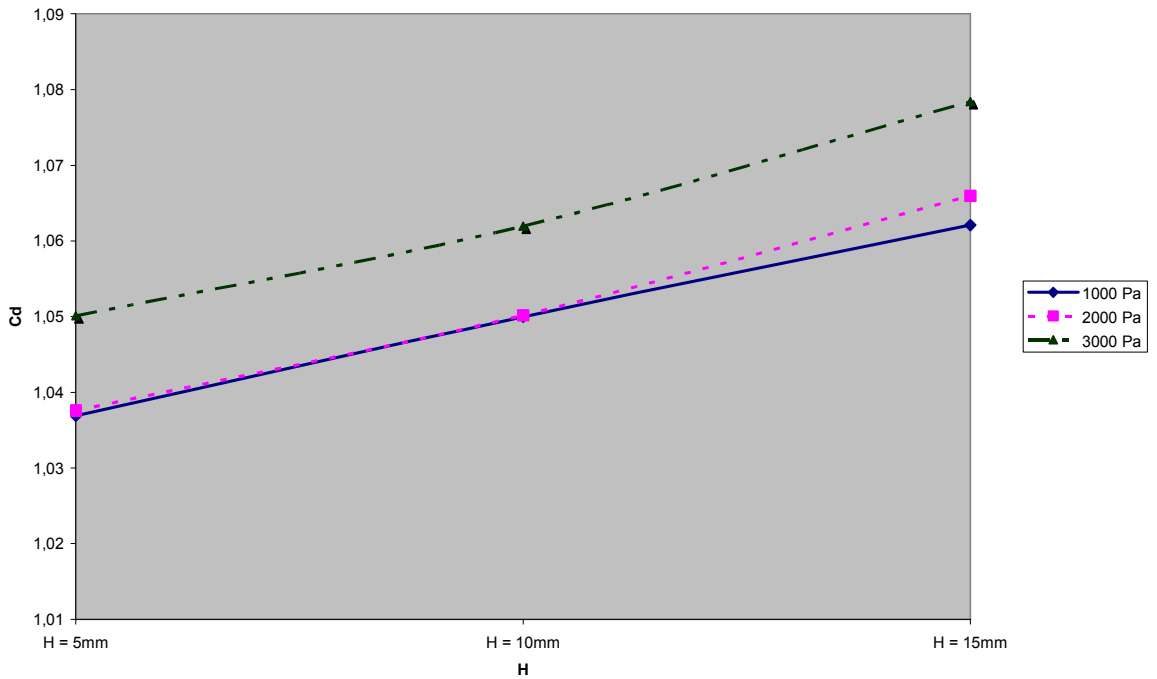
Çizelge 4.3 Pervane Basıncı=2000Pa için Hoverkraftın Yerden Yüksekliğine göre
Sonuçların Karşılaştırılması.

	H = 5mm	H = 10mm	H = 15mm
HÜCRE SAYISI	1150000	1250000	1312000
AKIM ÇEŞİDİ	ke-standart	ke-standart	ke-standart
GİRİŞ HIZI	10 m/s	10 m/s	10 m/s
FAN BASINCI	2000 Pa	2000 Pa	2000 Pa
10 ⁻⁵ YAKINLIKTA ÇÖZÜM ELDE ETMEK İÇİN GEREKEN İTERASYON SAYISI	795	891	936
SÜRÜKLEME ETKİSİ (C _D)	1,038	1,050	1,066
HOVERKRAFTA ETKİYEN KUVVET (N)	9,024	9,134	9,271

Çizelge 4.4 Pervane Basıncı=3000Pa için Hoverkraftın Yerden Yüksekliğine göre Sonuçların Karşılaştırılması.

	H = 5mm	H = 10mm	H = 15mm
HÜCRE SAYISI	1150000	1250000	1312000
AKIM ÇEŞİDİ	ke-standart	ke-standart	ke-standart
GİRİŞ HIZI	10 m/s	10 m/s	10 m/s
FAN BASINCI	3000 Pa	3000 Pa	3000 Pa
10^{-5} YAKINLIKTA ÇÖZÜM ELDE ETMEK İÇİN GEREKEN İTERASYON SAYISI	858	922	979
SÜRÜKLEME ETKİSİ (C_D)	1,050	1,062	1,078
HOVERKRAFTA ETKİYEN KUVVET (N)	9,133	9,236	9,379

Tablolardaki bu veriler kullanılarak sürüklenme etkisinin (C_D), Hoverkraftın yerden yüksekliği ile nasıl değiştiğine dair bir grafik çizilmiştir.



Şekil 4.20 C_D değerinin H değeri ile değişimi.

Aynı sonuçlar kullanılarak bu kez Hoverkraftın yerden yüksekliği sabit olduğu durumda sonuçların Pervane basınç farkı değerine göre değişimini incelememiz için tablolar oluşturulmuştur.

Çizelge 4.5 H=5mm için Pervane Fark Basıncına göre Sonuçların Karşılaştırılması.

	P = 1000 Pa	P = 2000 Pa	P = 3000 Pa
HÜCRE SAYISI	1150000	1150000	1150000
AKIM ÇEŞİDİ	ke-standart	ke-standart	ke-standart
GİRİŞ HIZI	10 m/s	10 m/s	10 m/s
HOVERCRAFTIN YERDEN YÜKSEKLİĞİ	5 mm	5 mm	5 mm
10 ⁻⁵ YAKINLIKTA ÇÖZÜM ELDE ETMEK İÇİN GEREKEN İTERASYON SAYISI	712	795	858
SÜRÜKLEME ETKİSİ (C _D)	1,037	1,038	1,050
HOVERKRAFTA ETKİYEN KUVVET (N)	9,018	9,024	9,133

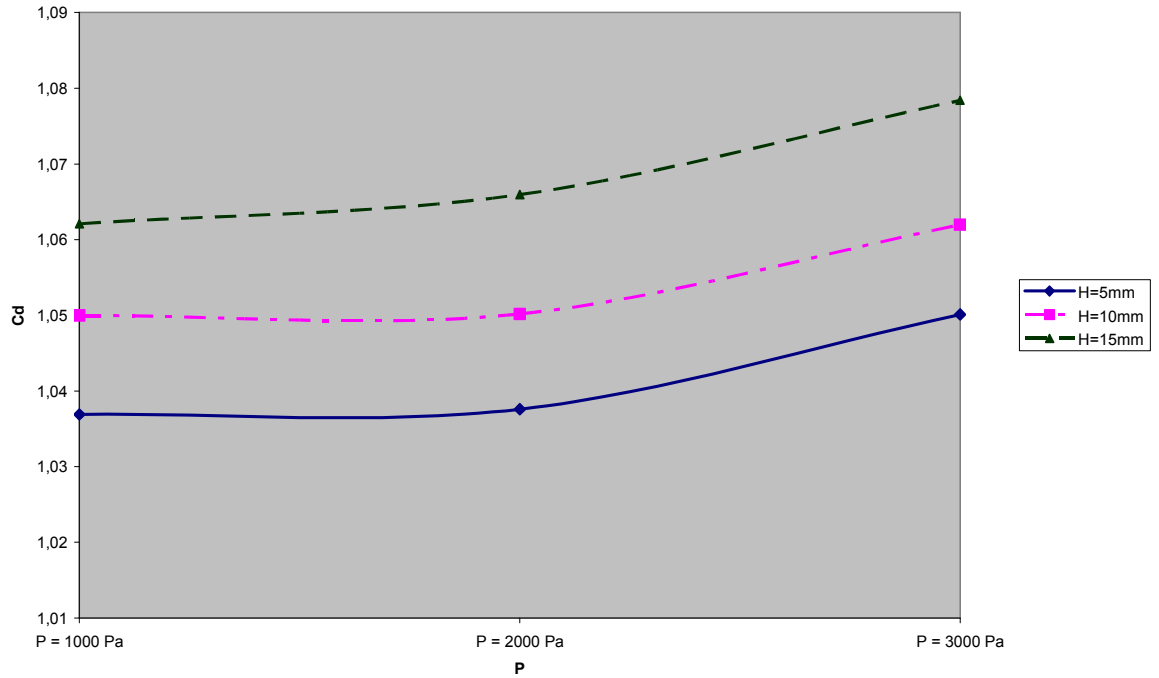
Çizelge 4.6 H=10mm için Pervane Fark Basıncına göre Sonuçların Karşılaştırılması.

	P = 1000 Pa	P = 2000 Pa	P = 3000 Pa
HÜCRE SAYISI	1250000	1250000	1250000
AKIM ÇEŞİDİ	ke-standart	ke-standart	ke-standart
GİRİŞ HIZI	10 m/s	10 m/s	10 m/s
HOVERCRAFTIN YERDEN YÜKSEKLİĞİ	10 mm	10 mm	10 mm
10 ⁻⁵ YAKINLIKTA ÇÖZÜM ELDE ETMEK İÇİN GEREKEN İTERASYON SAYISI	841	891	922
SÜRÜKLEME ETKİSİ (C _D)	1,045	1,050	1,062
HOVERKRAFTA ETKİYEN KUVVET (N)	9,132	9,134	9,237

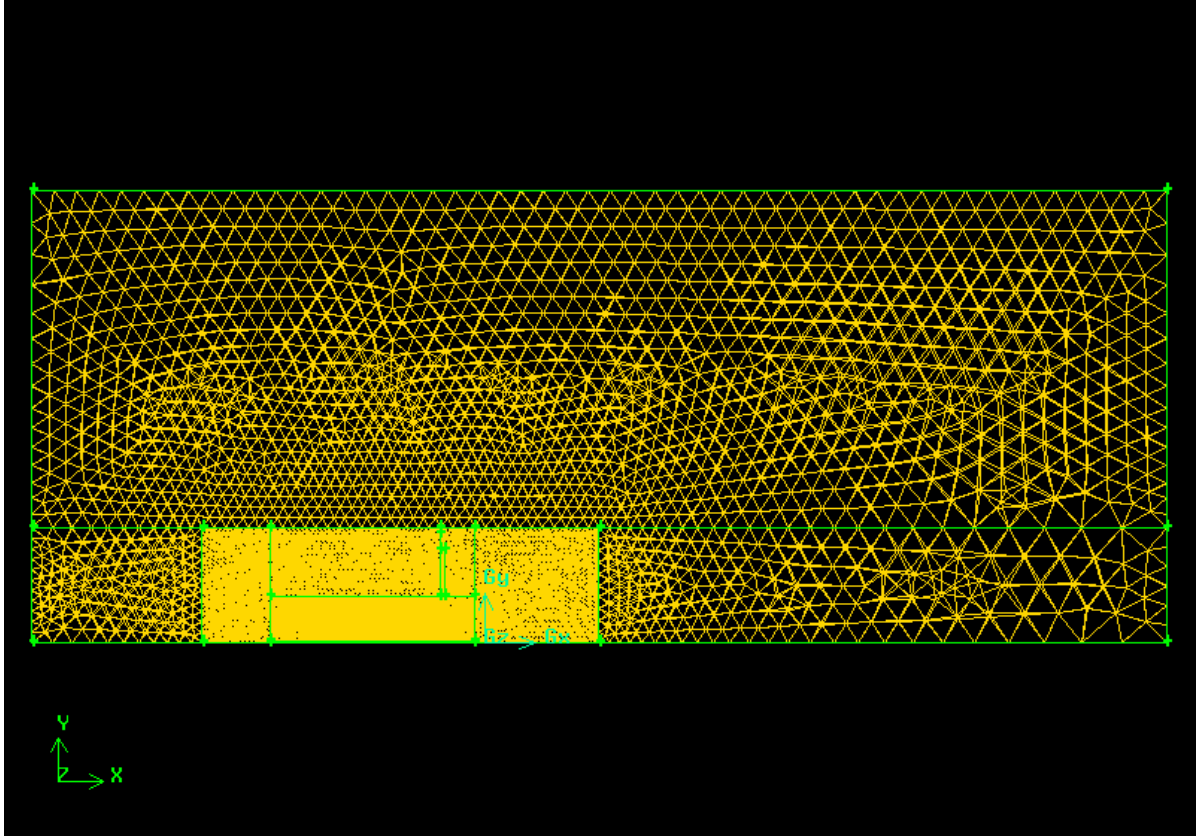
Çizelge 4.7 H=15mm için Pervane Fark Basıncına göre Sonuçların Karşılaştırılması.

	P = 1000 Pa	P = 2000 Pa	P = 3000 Pa
HÜCRE SAYISI	1312000	1312000	1312000
AKIM ÇEŞİDİ	ke-standart	ke-standart	ke-standart
GİRİŞ HIZI	10 m/s	10 m/s	10 m/s
HOVERCRAFTIN YERDEN YÜKSEKLİĞİ	15 mm	15 mm	15 mm
10 ⁻⁵ YAKINLIKTA ÇÖZÜM ELDE ETMEK İÇİN GEREKEN İTERASYON SAYISI	881	936	979
SÜRÜKLEME ETKİSİ (C _D)	1,062	1,066	1,078
HOVERCRAFTTA ETKİYEN KUVVET (N)	9,237	9,271	9,379

Tablolardaki bu veriler kullanılarak sürüklenme etkisinin (C_D), Pervanenin fark basıncı ile nasıl değiştiğine dair bir grafik çizilmiştir.

Şekil 4.21 C_D değerinin P değeri ile değişimi.

Bu çözümlere ek olarak kullanılan structured çözümünün doğruluğundan emin olmak için bir unstructured çözüm ağı oluşturulmuş ve diğer parametreler sabit tutularak $H=10\text{mm}$ – $P=2000\text{Pa}$ için çözüm yapılmıştır. Bu çözüm sonrası oluşan değerlerin bir önceki değerlerle karşılaştırma tablosu aşağıda gösterilmiştir.



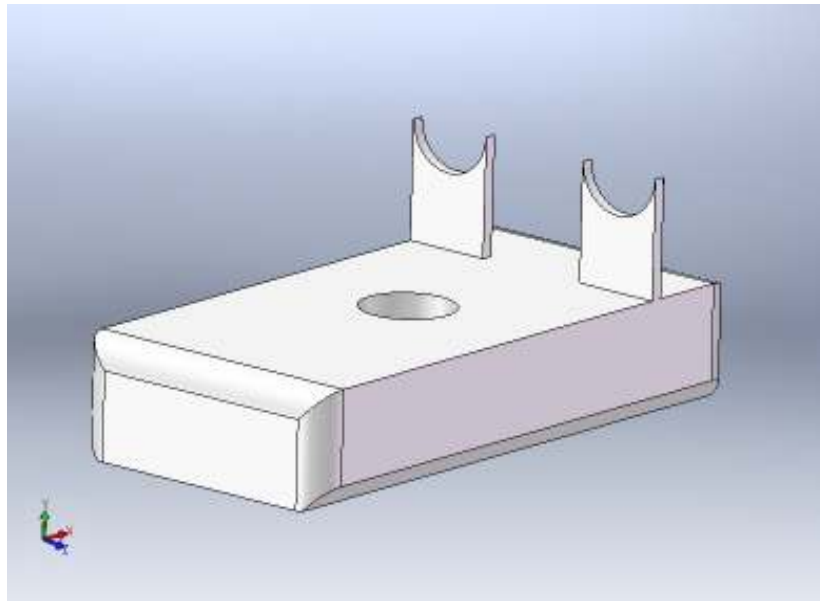
Şekil 4.22 Unstructured ile Oluşturulan Grid.

Çizelge 4.8 Unstructured ile Structured Grid Sonuçların Karşılaştırılması.

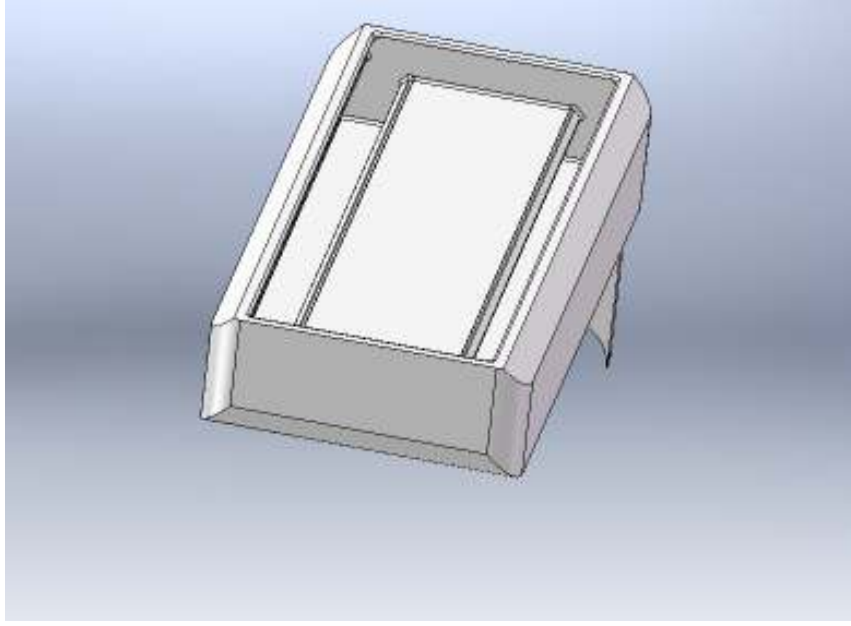
	STRUCTURED GRİD	UNSTRUCTURED GRİD
HÜCRE SAYISI	1250000	1246500
AKIM ÇEŞİDİ	ke-standart	ke-standart
HOVERCRAFTIN YERDEN YÜKSEKLİĞİ	H = 10mm	H = 10mm
GİRİŞ HIZI	10 m/s	10 m/s
FAN BASINCI	2000 Pa	2000 Pa
10^{-5} YAKINLIKTA ÇÖZÜM ELDE ETMEK İÇİN GEREKEN İTERASYON SAYISI	891	886
SÜRÜKLEME ETKİSİ (C_D)	1,05	1,02
HOVERKRAFTA ETKİYEN KUVVET (N)	9,13	8,85

4.3 HAVADA DURUP AYNI ZAMANDA İLERİ GİDEN HOVERKRAFT

Bu uygulamada, geçen uygulamada varolan ve ileri itki gücünü sağlayan pervanelere ek olarak hoverkraftın gövdesinin üzerinde yatay olarak y eksenini yönünde çalışan ve hoverkraftın havada durabilmesi için gerekli olan kaldırma kuvvetini sağlayan bir adet fan bulunmaktadır.

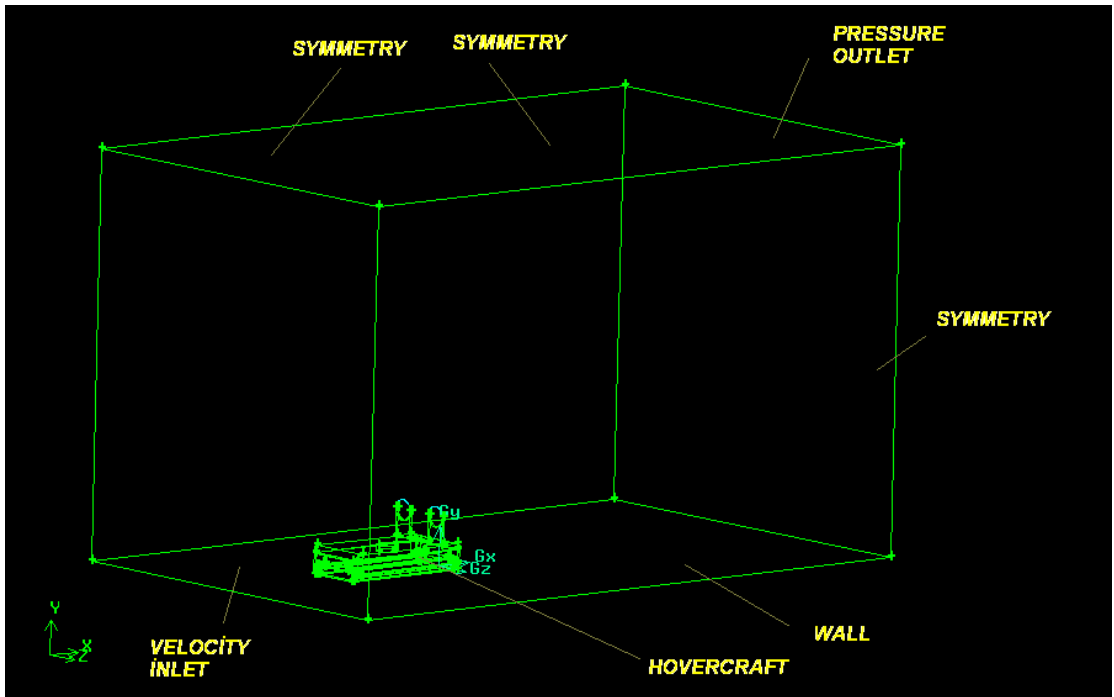


Şekil 4.23 Yatay fanlı Hoverkraft.

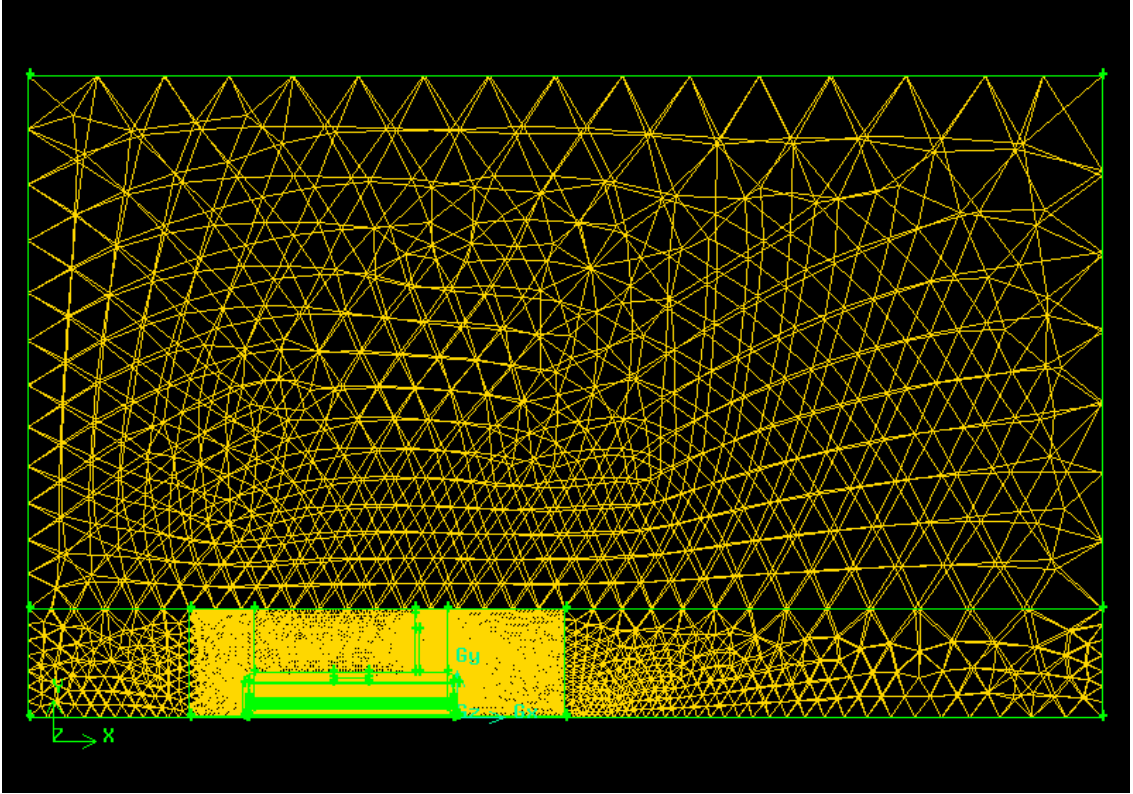


Şekil 4.24 Yatay fanlı Hoverkraftın altının görünüşü.

Kullanılan sınır şartları önceki uygulama ile aynı olmakla birlikte Fan içinde FAN sınır şartı belirlenmiştir. Bu çözümler yapılırken türbülanslı akım için kullanılan k- ϵ (standart) çözüm yöntemi yöntemi kullanılmıştır. Ortam basıncı olarak 1atm (101,3 kPa) seçilmiştir. Giriş hızı olarak 10 m/s sabit hız alınmıştır. Hoverkraftın hızı 5 m/s olarak alınmış, Pervanelerin fark basınçları 1000Pa, Fanın fark basıncı ise 3000Pa olarak alınmıştır. Hovercraftın yerden yüksekliği ise 10mm seçilmiştir.



Şekil 4.25 Yatay fanlı Hoverkraftın çözüm alanı ve sınır şartları.



Şekil 4.26 Yatay fanlı Hoverkraftın çözüm ağı.

Bu değerler için 2 adet steady ve unsteady çözüm yapılmıştır. Unsteady ve Steady çözüm için iterasyon süreleri aynıdır ve 1000 iterasyon için yaklaşık 10 saattir. Sonuçlar elde edilirken iki farklı alan kullanılmıştır. $A_1=0.142 \text{ m}^2$ olarak hoverkraftın ön kısmının kesit alanı, $A_2=0.5 \text{ m}^2$ ise hoverkraftın üst kısmının kesit alanıdır. C_D ve C_L değerlerini

hesaplamak için $C_{D1} = \frac{D}{\frac{1}{2} \times \rho U_\infty^2 A_1}$, $C_{D2} = \frac{D}{\frac{1}{2} \times \rho U_\infty^2 A_2}$, $C_{L1} = \frac{L}{\frac{1}{2} \times \rho U_f^2 A_1}$ ve

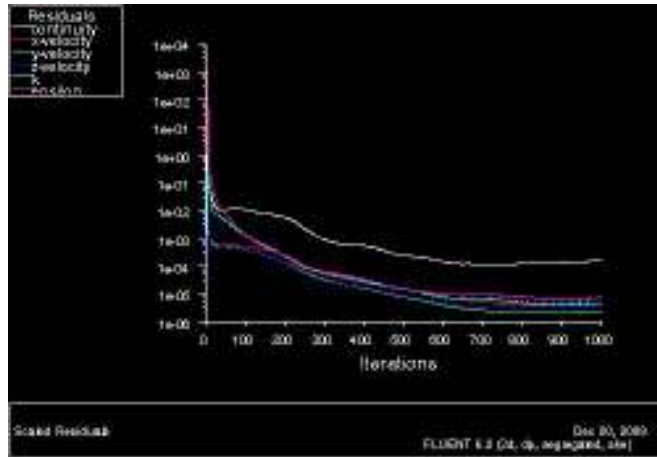
$C_{L2} = \frac{L}{\frac{1}{2} \times \rho U_f^2 A_2}$ formülleri kullanılabilir. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak tablo halinde

aşağıda sunulmuştur.

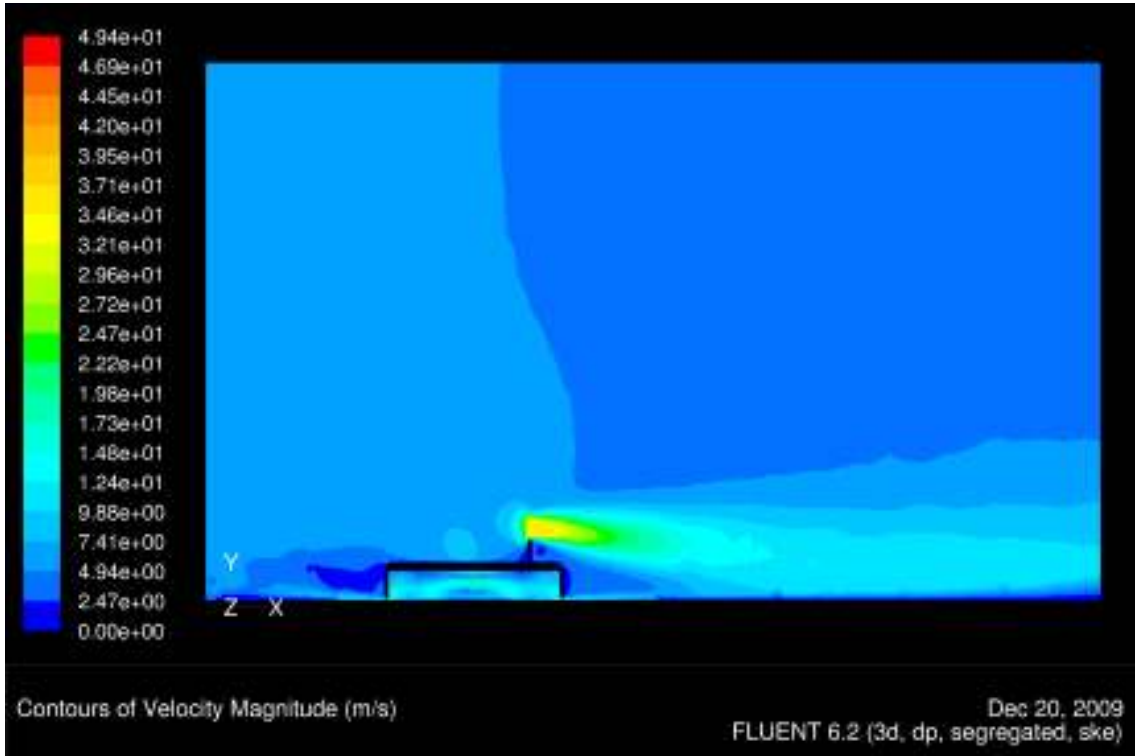
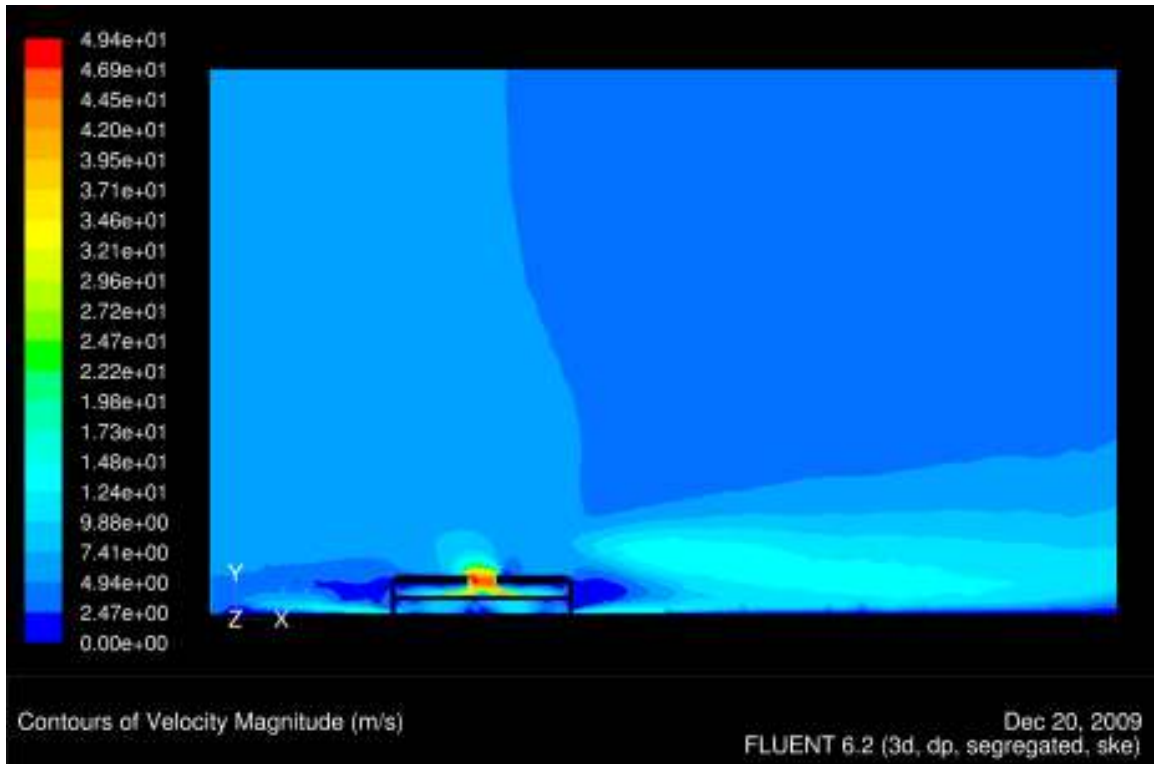
Çizelge 4.9 Steady çözüm ile Unsteady çözümün Sonuçların Karşılaştırılması.

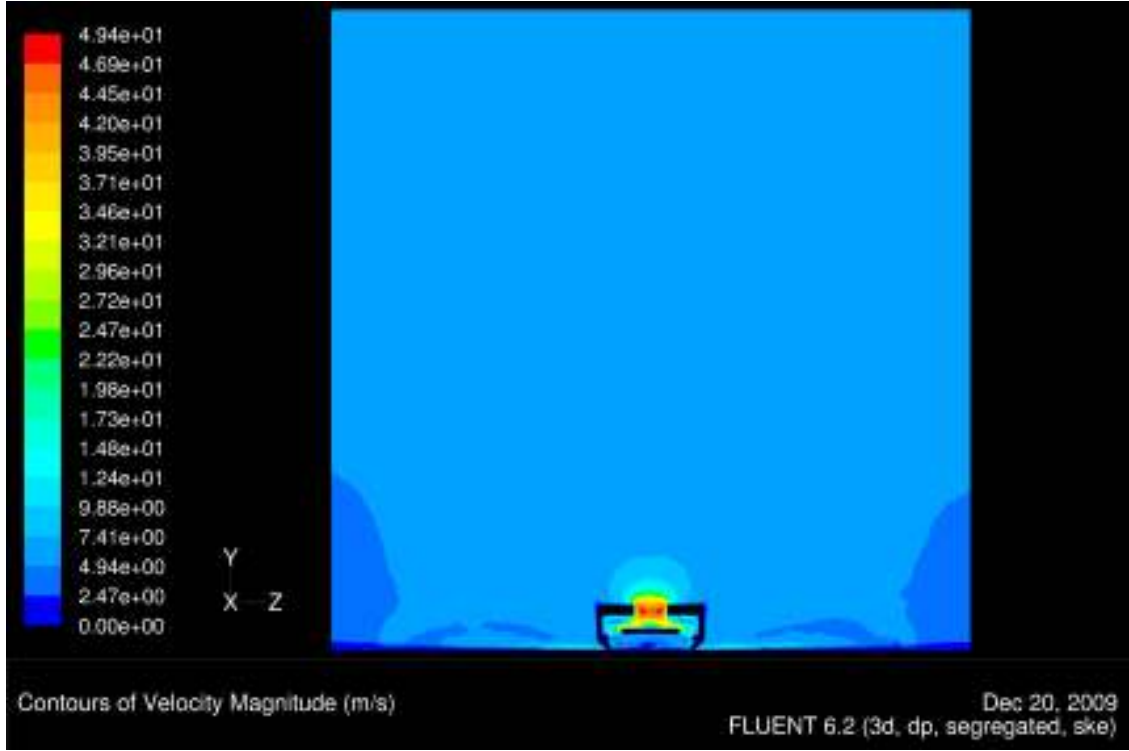
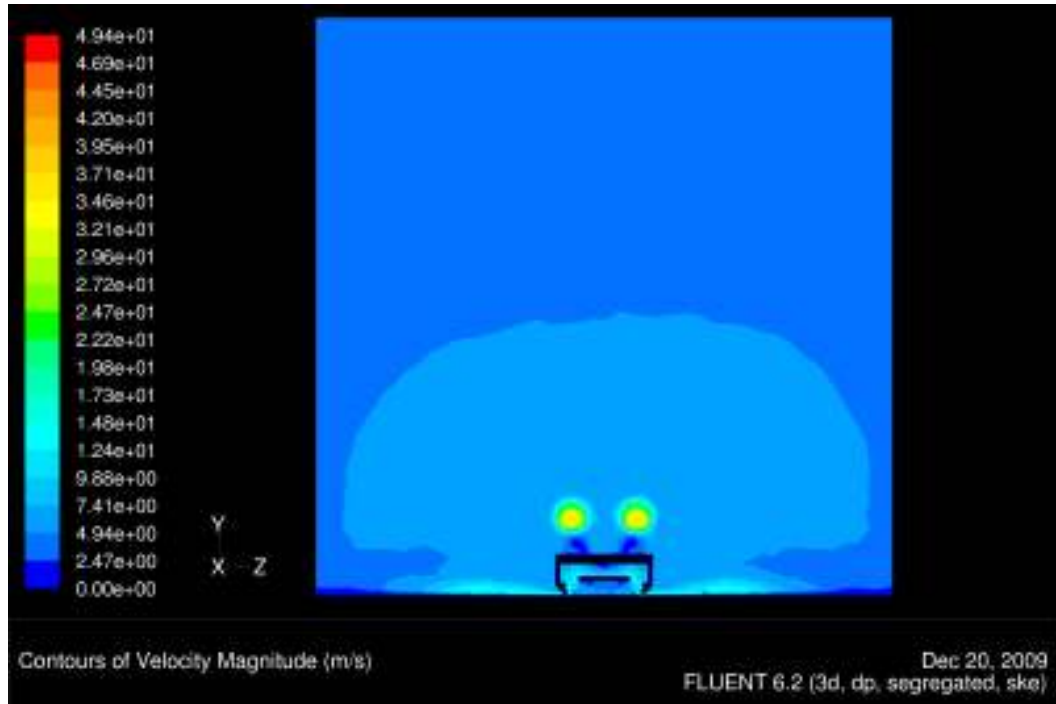
	STEADY	UNSTEADY
HÜCRE SAYISI	1635500	1635500
TÜRBÜLANSLI ÇÖZÜM	ke-standart	ke-standart
GİRİŞ HIZI	5 m/s	5 m/s
FAN BASINCI	3000 Pa	3000 Pa
PERVANE BASINCI	1000 Pa	1000 Pa
HOVERCRAFTIN YERDEN YÜKSEKLİĞİ	10 mm	10 mm
A_1	0,142 m ²	0,142 m ²
C_{D1}	4,39	4,34
F_{D1}	9,56	9,44
C_{L1}	1,52	1,52
F_{L1}	222,29	222,35
A_2	0,5 m ²	0,5 m ²
C_{D2}	1,25	1,23
F_{D2}	9,56	9,44
C_{L2}	0,43	0,43
F_{L2}	222,29	222,35

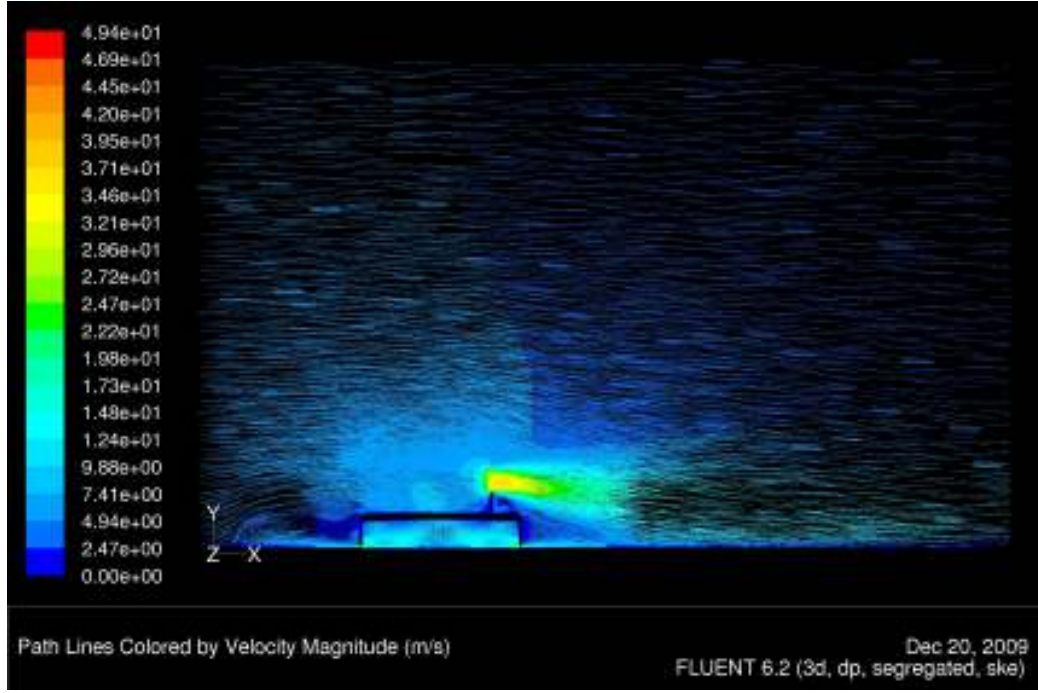
Steady çözüm için çizilen kontür ve yörüngeleri aşağıda gösterilmiştir.



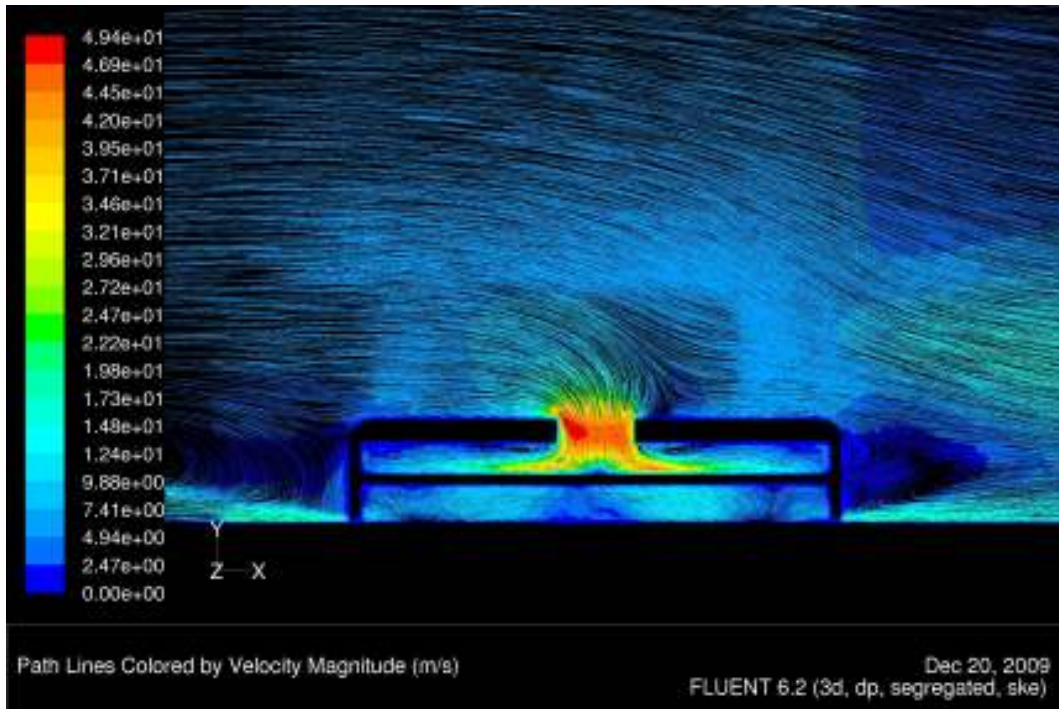
Şekil 4.27 İterasyon Sayısı ile Yakınsaklığın Değişimi.

Şekil 4.28 $z=0.175\text{m}$ için hız kontürleriŞekil 4.29 $z=0\text{ m}$ için hız kontürleri

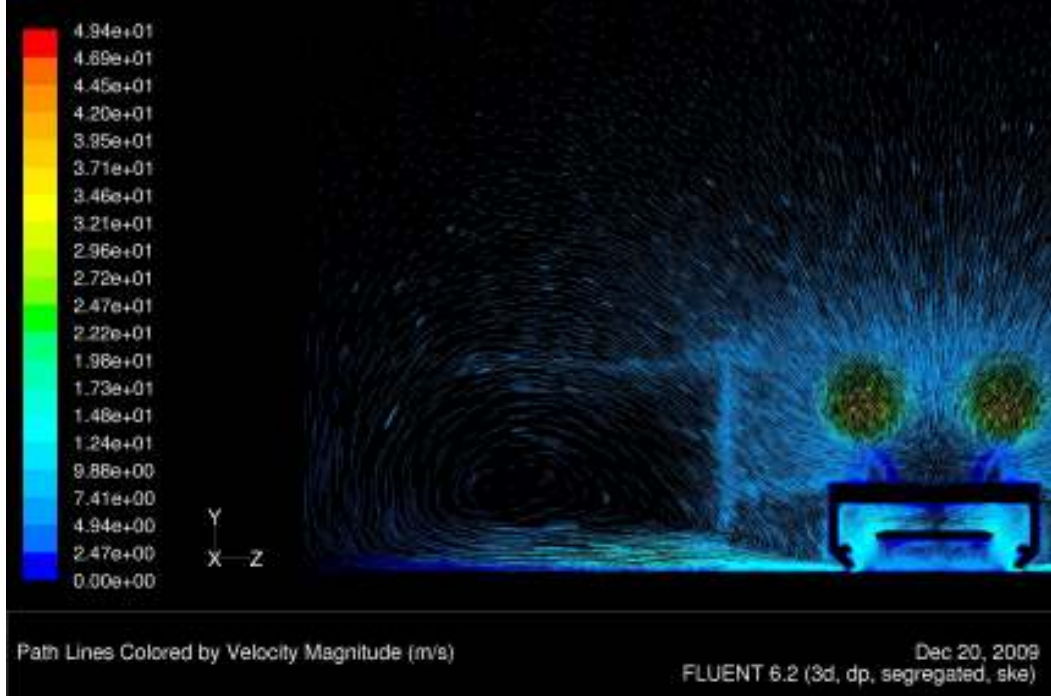
Şekil 4.30 $x=-0.5m$ için hız kontürleriŞekil 4.31 $x=-0.195m$ için hız kontürleri



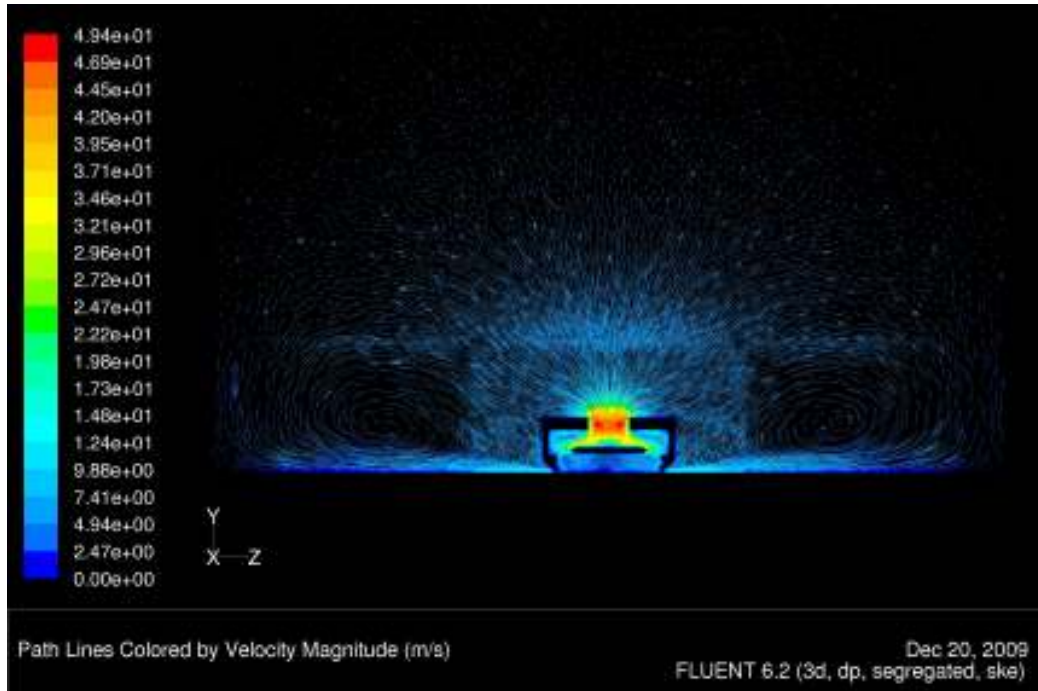
Şekil 4.32 $z=0.175\text{m}$ için Yörüngeler.



Şekil 4.33 $z=0\text{ m}$ için Yörüngeler.



Şekil 4.34 $x=-0.195\text{m}$ için Yörüngeler.



Şekil 4.35 $x=-0.5\text{m}$ için Yörüngeler.

5. SONUÇLAR

Yapılan çeşitli çözümlerin amacı en düşük sürüklenme katsayısı için hoverkraft için verilmesi gereken değerleri bulmaktır. Çözümler sonucunda bulunan değerlere bakarsak, sürüklenme katsayısı pervane basınçları arttıkça artmaktadır. Yani hoverkraft için yeterli ileri hareketi sağlayabilecek en düşük fan basıncı bir imalat kriteri olabilir.

Hoverkraftın yerden yüksekliği ise yine sürüklenme katsayısıyla doğru orantılıdır. Yani yerden yükseklik arttıkça sürüklenme katsayısı da artar. Hoverkraft için bir yükseklik belirleyen bunu da göze almak gerekir. Tabi hoverkraftın kullanım yerine ve amacına göre, belli bir yerden yüksekliği olması gerekebilir.

KAYNAKÇA

1. Bruneau, C., Gillieron, P. ve Mortazavi, I., (2007), "Flow Manipulation Around the Ahmed Body With a Rear Window Using Passive Strategies", C.R Mecanique 355.
2. Date, A., (2005), "Introduction to Computational Fluid Dynamics", Cambridge University Press.
3. Hoessler, J., Beaudoin, JF. ve Perot, F., (2007), "Unsteady Separated Flow Around the Ahmed Body", IUTAM Symposium on Unsteady Separated Flows and their Control.
4. Tu, J., Yeoh, G. ve Liu, C., (2008), "Computational Fluid Dynamics – A Practical Approach", Elsevier Inc.
5. Versteeg, H. ve Malalasekera, W., (1995), "An Introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method", Longman Scientific and Technical.
6. Yun, L. ve Bliault, A., (2000), "Theory and Design of Air Cushion Craft", Arnold Publishers.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	14.11.1984	
Doğum Yeri	İstanbul	
Mezun Olduğu Lise	1995–2002	Bahçelievler Anadolu Lisesi
Lisans	2002–2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2008-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı Kurumlar

2009- Tetisan Endüstriyel Klima